



TUGAS AKHIR TF 141581

ANALISIS RESPONS VIBRASI BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI UNTUK DETEKSI KERUSAKAN

**ANGGUN DIYANITA
NRP 2414 106 011**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Jerri Susatio, MT**

**Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



Final Project TF 141581

VIBRATION ANALYSIS OF HIGH RISE BUILDING FOR DAMAGE DETECTION

**ANGGUN DIYANITA
NRP 2414 106 011**

**Supervisor:
Ir. Jerri Susatio, MT**

**Engineering Physics Department
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS RESPONS VIBRASI BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI UNTUK DETEKSI KERUSAKAN

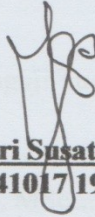
Oleh:

Anggun Diyanita

NRP. 2414 106 011

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Ir. Jerri Susatio, MT

NIPN. 19541017 198003 1 005

Mengetahui,

Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D

NIPN. 19780902 200312 1 002

TUGAS AKHIR

ANALISIS RESPONS VIBRASI BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI UNTUK DETEKSI KERUSAKAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana teknik
pada
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

ANGGUN DIYANITA
NRP. 2414 106 011

Telah disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Jerri Susatio, MT.....(Pembimbing)
2. Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc.....(Penguji I)
3. Andi Rahmadiansah, ST, MT(Penguji II)
4. Arief Abdurrakhman, ST, MT(Penguji III)

SURABAYA
Januari, 2017

ANALISIS RESPONS VIBRASI BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI UNTUK DETEKSI KERUSAKAN

Nama mahasiswa : Anggun Diyanita
NRP : 2414106011
Departemen : Teknik Fisika, FTI-ITS
Pembimbing : Ir. Jerri Susatio, MT

Abstrak

Semakin tinggi bangunan dan semakin lama penggunaan maka akan menyebabkan bangunan semakin rentan terhadap gangguan seperti angin maupun gempa bumi terhadap ketahanan struktur bangunan tersebut serta menyebabkan kerusakan yang berakumulasi. Untuk menghindari kerusakan yang tidak terdeteksi yang berpotensi menyebabkan kerugian yang lebih besar, tentu sangat dibutuhkan monitoring deteksi kerusakan struktur untuk mengetahui lebih dini kerusakan yang mungkin akan ditimbulkan, lokasi kerusakan, dan tingkat kerusakan. Dalam tugas akhir ini, deteksi kerusakan struktur dengan analisis vibrasi yang ditandai dengan simpangan maksimum antar tingkat didapatkan dengan menggunakan metode State Space yang kemudian dianalisis kerusakan yang terjadi dengan berdasarkan kinerja batas layan dan batas ultimit sesuai dengan SNI-1796-2002. Hasil analisis menunjukkan bahwa kerusakan paling parah yang ditandai dengan simpangan maksimum akibat gempa terjadi di lantai 15, yaitu sebesar 5,61 cm untuk gempa berkekuatan 5 Skala Richter, 6,36 cm untuk gempa berkekuatan 6 Skala Richter, 6,80 cm untuk gempa berkekuatan 7 Skala Richter, dan 7,63 cm untuk gempa berkekuatan 8 Skala Richter.

Kata kunci: vibrasi, gempa, bangunan bertingkat, deteksi kerusakan

VIBRATION ANALYSIS OF HIGH RISE BUILDING FOR DAMAGE DETECTION

Name : Anggun Diyanita
NRP : 2414106011
Department : Teknik Fisika, FTI-ITS
Supervisor : Ir. Jerri Susatio, MT

Abstract

The higher and the longer service period of building will cause it more susceptible to disturbances such as strong wind and earthquake. As an attempt to prevent the undetected structural damages that will cause a higher losses, monitoring damage detection is needed to determine the damage which may occur, the location of the damage column, and the level of structural damage. Vibration analysis of high-rise building for damage detection has been done by analyzing the maximum displacement in every storey when it is excited by 5 Richter Scale, 6 Richter Scale, 7 Richter Scale, dan 8 Richter Scale of earthquake. The maximum displacement of each storey obtained by using State Space method, then the damage caused by earthquake is analyzed based on the performance limit and the ultimate limit of serviceability according to SNI-1796-2002. The analysis showed that the most severe damage occurred in the 15th floor with the maximum displacements are 5,61 cm for 5 Richter Scale, 6,36 cm for 6 Richter Scale, 6,80 cm for 7 Richter Scale, dan 7,63 cm for 8 Richter Scale earthquakes.

Keywords: vibration, earthquake, high rise building, damage detection

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Getaran	4
2.2 Elemen-elemen Penyusun Sistem Getaran	4
2.3 Sistem Getaran Dua Derajat Kebebasan	6
2.4 Gempa Bumi	7
2.5 Ukuran Gempa dalam Magnitudo	8
2.6 Kolom.....	10
2.7 Kekakuan Struktur	11
2.8 Metode State Space	12
2.9 Evaluasi Kinerja Struktur	12

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir	15
3.2 Model Fisik Bangunan	16
3.3 Menentukan Massa dan Kekakuan.....	18
3.4 Data Bangunan Objek Tugas Akhir	19
3.5 Pemodelan State Space.....	19

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Sinyal Pengganggu.....	25
4.2 Respons Setiap Lantai untuk Gempa 5 SR.....	27
4.3 Respons Setiap Lantai untuk Gempa 6 SR.....	28

4.4 Respons Setiap Lantai untuk Gempa 7 SR.....	30
4.5 Respons Setiap Lantai untuk Gempa 8 SR.....	32
4.6 Kinerja Batas Layan Setiap Lantai.....	34
4.7 Kinerja Batas Ultimit Setiap Lantai	38
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	43

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem getaran dengan dua derajat kebebasan.....	7
Gambar 2.2 Fokus dan epicenter.....	8
Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir.....	15
Gambar 3.2 Model fisik bangunan bertingkat limabelas	16
Gambar 3.3 Sistem massa-pegas bangunan bertingkat limabelas	16
Gambar 4.1 Gaya pengganggu 5 SR dengan durasi 60 detik	25
Gambar 4.2 Gaya pengganggu 6 SR dengan durasi 60 detik	25
Gambar 4.3 Gaya pengganggu 7 SR dengan durasi 60 detik	26
Gambar 4.4 Gaya pengganggu 8 SR dengan durasi 60 detik	26
Gambar 4.5 Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan	27
Gambar 4.6 Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan	27
Gambar 4.7 Respons lantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan	28
Gambar 4.8 Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan	28
Gambar 4.9 Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan	29
Gambar 4.10 Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan	29
Gambar 4.11 Respons lantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan	30
Gambar 4.12 Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan	30
Gambar 4.13 Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan	31
Gambar 4.14 Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan	31
Gambar 4.15 Respons lantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan	32
Gambar 4.16 Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan	32
Gambar 4.17 Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan	33
Gambar 4.18 Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan	33
Gambar 4.19 Respons lantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan	34
Gambar 4.20 Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan	34

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Magnitudo, efek karakteristik, frekuensi dan skala MMI gempa bumi	10
Tabel 4.1 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 5 SR	35
Tabel 4.2 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 6 SR	35
Tabel 4.3 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 7 SR	36
Tabel 4.4 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 8 SR	37
Tabel 4.5 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 5 SR	38
Tabel 4.6 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 6 SR	39
Tabel 4.7 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 7 SR	39
Tabel 4.8 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 8 SR	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, cepatnya laju pertumbuhan penduduk, dan semakin sempitnya lahan khususnya di wilayah perkotaan memungkinkan pesatnya pembangunan bangunan-bangunan bertingkat tinggi sekarang ini. Namun, semakin tinggi bangunan dan semakin lama penggunaan maka akan menyebabkan bangunan semakin rentan terhadap gangguan seperti angin maupun gempa bumi terhadap ketahanan struktur bangunan tersebut serta menyebabkan kerusakan yang berakumulasi. Untuk tujuan keamanan dan kenyamanan serta untuk menghindari kerusakan yang tidak terdeteksi yang berpotensi menyebabkan kerugian yang lebih besar, tentu sangat dibutuhkan monitoring deteksi kerusakan struktur untuk mengetahui lebih dini kerusakan yang mungkin akan ditimbulkan, lokasi kerusakan, dan tingkat kerusakan. Sehingga, informasi tersebut dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan *maintenance* yang tepat.^[1]

Analisis respons vibrasi dengan mendeteksi kerusakan melalui monitoring kesehatan struktur telah banyak dilakukan sebagai upaya untuk mencegah kerusakan salah satunya adalah dengan analisis vibrasi. Seperti yang dilakukan oleh I. Kondo dan T. Hamamoto, yaitu deteksi kerusakan menggunakan pemodelan ARMA dengan mengidentifikasi parameter modal dari struktur bangunan untuk mengetahui dimana lokasi lantai yang rusak dan mendeteksi kerusakan pada kolom penyangga bangunan^[2]. Dan, Q. Huang, dkk, melakukan penelitian tentang deteksi kerusakan bangunan menggunakan metode *Frequency*

Response Function (FRF) untuk mendeteksi dan mengkuantifikasi kerusakan tunggal maupun jamak pada struktur bangunan dengan eksitasi penuh maupun eksitasi setengah berdasarkan metode FRF^[3].

Tugas akhir ini mempresentasikan tentang analisis vibrasi bangunan bertingkat limabelas untuk mendeteksi kerusakan struktur yang dapat terjadi akibat gempa bumi.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan analisis respons vibrasi pada bangunan bertingkat limabelas?
2. Bagaimana menentukan lokasi kerusakan dari bangunan bertingkat limabelas yang ditandai dengan simpangan dan kecepatan simpangan terbesar?

1.3 Tujuan

Dari permasalahan di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk melakukan analisis respon vibrasi pada bangunan bertingkat limabelas.
2. Untuk menentukan lokasi kerusakan dari bangunan bertingkat limabelas yang ditandai dengan simpangan dan kecepatan simpangan terbesar.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang muncul, maka dalam pengerjaan tugas akhir ini diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian merupakan bangunan bertingkat tinggi dengan 15 lantai dan khusus untuk bangunan apartment.
2. Nilai redaman atau C diabaikan.
3. Beton yang digunakan untuk menentukan nilai kekakuan adalah beton *ready mix* K-300.

4. Gaya eksitasi bangunan hanya dipengaruhi oleh gempa bumi arah horizontal yang berkekuatan 5 Skala Richter, 6 Skala Richter, 7 Skala Richter, dan 8 Skala Richter.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.

BAB II TEORI PENUNJANG

Berisi tentang teori mengenai getaran secara umum, sistem getaran dengan dua derajat kebebasan, energi gempa bumi dengan Skala Richter, dan metode yang digunakan dalam tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir yang meliputi langkah-langkah penelitian yang dituliskan dalam diagram alir dan langkah-langkah analisis yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil analisis dan pembahasan tugas akhir.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dalam tugas akhir serta saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Getaran

Getaran adalah gerak bolak-balik atau gerak osilasi suatu benda di sekitar kesetimbangan. Gerakan dapat berupa benturan yang berulang secara berkelanjutan dan dapat juga berupa gerakan acak yang tidak beraturan.

Getaran dapat diklasifikasikan dalam beberapa macam, antara lain:

1. Getaran bebas adalah getaran yang terjadi pada suatu sistem tanpa ada pengaruh gaya luar (eksitasi) selain gaya dari sistem itu sendiri. Contoh dari getaran bebas adalah gerakan pendulum.
2. Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena pengaruh dari gaya luar (eksitasi). Jika gaya eksitasi tersebut berisolasi, maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi dari gaya eksitasi tersebut. Apabila sistem berisolasi pada frekuensi yang sama frekuensi naturalnya maka sistem akan mengalami keadaan resonansi yang dapat menimbulkan bahaya.
3. Getaran tak teredam adalah getaran yang tidak membuat sistem kehilangan energi akibat tahanan selama berisolasi.
4. Getaran teredam adalah getaran yang membuat sistem kehilangan energi akibat tahanan selama sistem berisolasi.

2.2 Elemen-elemen Penyusun Sistem Getaran

Pada sistem getaran, terdapat 3 buah elemen utama yaitu massa, kekakuan dan redaman. Ketiga elemen tersebut umumnya disebut sebagai karakteristik dinamik struktur.

2.2.1 Elemen Massa atau Inersia

Inersia atau kelembaman merupakan sifat kecenderungan suatu benda untuk melawan beban aksi yang diterimanya. Umumnya benda memiliki kapasitas bertahan terhadap benda lain dan apabila benda tersebut tidak dapat bertahan dari beban yang diterima, maka benda tersebut akan hancur. Ketahanan benda dinyatakan dengan gerakan sebagai

bentuk tambahan energi yang diterima dari beban yang diberikan. Gerakan ini merupakan ciri dari kelembaman benda. Namun, hal ini dapat berbeda apabila elemen massa atau inersia diasumsikan sebagai benda rigid dimana benda dapat menerima atau kehilangan energi kinetik ketika kecepatan benda tersebut berubah.

2.2.2 Kekakuan

Kekakuan diasumsikan sebagai penghubung antar benda dengan massa tergumpal. Kekakuan memiliki elastisitas atau idealisasi seperti benda pegas. Apabila sifat elastisitas dikatakan linier, maka hubungan untuk kekakuan tersebut disebut kekakuan linier. Kekakuan linier adalah salah satu jenis penghubung mekanik yang secara umum diasumsikan dengan massa dan efek redamannya diabaikan.

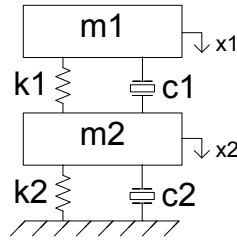
Kekakuan adalah salah satu karakteristik dinamik struktur bangunan yang sangat penting selain massa. Antara massa dan kekakuan struktur memiliki hubungan yang unik yang umumnya disebut sebagai karakteristik diri atau eigenvektor. Hubungan tersebut akan menentukan nilai frekuensi sudut dan periode getar struktur. Kedua parameter tersebut sangat penting dan sangat mempengaruhi respons dinamik struktur.

2.2.3 Redaman

Umumnya, energi getaran yang timbul dari proses gerakan benda diserap oleh udara sebagai panas atau bunyi yang disebabkan oleh pelepasan energi karena adanya gerakan antar molekul di dalam material, gesekan dengan udara, maupun gesekan antar alat penyusun sistem. Karena redaman berfungsi untuk melepaskan energi, maka hal ini dapat mengurangi respons dari sistem atau struktur.

2.3 Sistem Getaran Dua Derajat Kebebasan

Bangunan dengan dua lantai dapat dimodelkan dengan sistem getaran dua derajat kebebasan. Sistem getaran dengan dua derajat kebebasan adalah sistem yang mempunyai dua pegas dan dua beban dalam setiap arah gaya atau modus yang ada, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem getaran dengan dua derajat kebebasan

Persamaan gerak untuk sistem dengan dua derajat kebebasan dapat diperoleh dengan prinsip keseimbangan dari gaya-gaya yang bekerja pada sistem tersebut, yaitu gaya luar dan gaya-gaya lainnya yang terjadi akibat adanya gerakan-gerakan pada sistem tersebut, seperti gaya inersia, gaya redaman, dan gaya elastic pegas. Dari sistem getaran dua derajat kebebasan tersebut, maka dapat dituliskan persamaan geraknya adalah sebagai berikut:

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) = 0 \quad (2.1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_2 \dot{x}_2 + k_1(x_2 - x_1) + k_2 x_2 = 0 \quad (2.2)$$

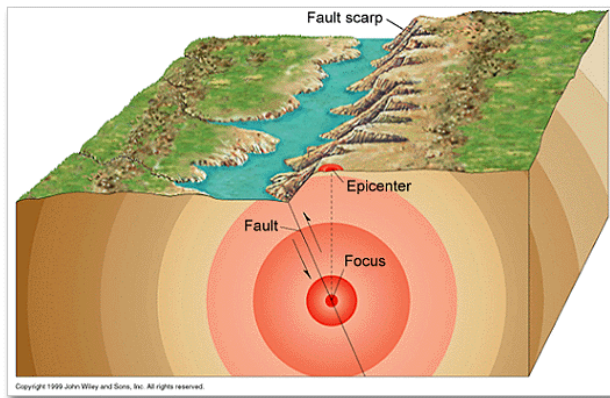
Untuk memodelkan struktur dengan dua derajat kebebasan seperti di atas, massa m merupakan massa struktur tergumpal yang terdiri dari setengah dari massa kolom ditambah dengan massa pelat lantai, massa dari balok, dan massa atau beban lain yang bekerja pada sistem tersebut.

2.4 Gempa Bumi

Menurut teori *elastic rebound* yang diusulkan oleh HF. Reid berdasarkan studi terhadap retakan yang terjadi di San Andreas Fault pada waktu terjadi gempa San Fransisco pada tahun 1906, menjelaskan tentang *shallow earthquake* yang terjadi karena suatu proses tektonik. Kerak bumi terdiri atas beberapa lempeng yang bergerak antara satu terhadap yang lain. Batas antara dua buah lempeng dinamakan dengan retakan kerak bumi atau sesaran (*fault*). Penyebab gempa

adalah adanya pelepasan *elastic strain energy* yang terjadi dengan tiba-tiba. *Elastic strain energy* ini tertumpuk karena adanya gerakan antara lempengan kerak bumi. Bila pada suatu tempat tertentu *fracture strength* dari kerak bumi terlampaui, titik ini akan melepaskan *elastic strain energy* yang merupakan penyebab terlampauinya *fracture strength* di titik-titik lainnya. Dengan demikian, maka akan terjadi pelepasan energi yang sangat besar yang mengakibatkan terjadinya gempa bumi.

Hypocenter merupakan pusat gempa yang terdapat di dalam bumi, sedangkan epicenter adalah titik di permukaan bumi tepat di atas hypocenter. Suatu gempa dinamakan gempa dangkal (*shallow focus earthquake*) bila pusat gempa terletak antara 0 sampai 70 km. Sedangkan, apabila pusat gempa terletak antara 70 sampai 300 km, maka gempa tersebut dinamakan gempa menengah (*intermediate focus earthquake*), serta gempa yang berpusat lebih dalam dari 300 km dinamakan gempa dalam (*deep focus earthquake*).



Gambar 2.2 Fokus dan epicenter

2.5 Ukuran Gempa dalam Magnitudo

Gaya eksitasi yang digunakan sebagai gaya pengganggu dalam tugas akhir ini adalah amplitudo gempa yang dihitung dari magnitudo gempa bumi. Magnitudo gempa adalah

kekuatan gempa bumi berdasarkan energi yang dipancarkan ketika terjadi gempa bumi. Persamaan yang paling umum dipakai untuk menentukan besar magnitudo gempa diusulkan oleh Richter sebagai berikut:

$$M = {}^{10}\log A - {}^{10}\log A_0 \quad (2.3)$$

Dalam persamaan di atas, A adalah amplitudo maksimum dalam mm yang tercatat dengan alat standart pada jarak 100 km dari epicenter. Alat tersebut adalah Wood-Anderson seismograf dengan periode natural 0,8 detik, magnifikasi statis sebesar 2800 dan rasio redaman sebesar 0,8. A_0 adalah amplitudo dari gempa standart yang besarnya adalah 10^{-3} mm untuk jarak 100 km. Gempa standart ini dinamakan *zero shock* karena A sama dengan A_0 sehingga didapatkan $M=0$, atau dengan kata lain gempa standart adalah gempa yang memiliki magnitudo nol pada skala Richter.

Karena letak seismograf biasanya tidak terletak tepat pada 100 km dari epicenter atau lebih dari 100 km, maka amplitudo A diperoleh dengan cara extrapolasi dari amplitudo yang tercatat.

Skala Richter didefinisikan sebagai logaritma (basis 10) dari amplitudo maksimum, yang diukur dalam satuan mikrometer, dari rekaman gempa bumi oleh instrument pengukur gempa (seismometer).

Richter dan Guttenberg (1954) menemukan perhitungan untuk menentukan besarnya energi gempa bumi berdasarkan magnitudonya sebagai berikut:

$$10 \log E = 10 \log E_0 + a M \quad (2.6)$$

dengan: E adalah energi dalam erg (dyne/cm)

M adalah magnitudo gempa bumi (skala Richter)

Pada tahun 1956, Richter dan Guttenberg merevisi rumus tersebut menjadi:

$$\log E = 11.4 + 1.5 M \quad (2.7)$$

Yang digunakan untuk menghitung energi gempa dengan $M > 7$. Rumus-rumus tersebut merupakan rumus empiris yang dibuat berdasarkan gempa-gempa yang telah terjadi.

Ukuran gempa dalam Skala Richter dan dampak yang ditimbulkan dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Magnitudo, efek karakteristik, frekuensi dan skala MMI gempa bumi

Magnitudo (Skala Richter)	Efek karakteristik guncangan skala pada daerah berpenduduk	Jumlah per tahun	Skala Intensitas Modified Mercalli (MMI)
<3,4	Hanya terekam oleh seismograf	800.000	I
3,5-4,2	Dirasakan oleh beberapa orang	30.000	II dan III
4,3-4,8	Dirasakan oleh banyak orang	4.800	IV
4,9-5,4	Dirasakan oleh setiap orang	1.400	V
5,5-6,1	Kerusakan bangunan kecil	500	VI dan VII
6,2-6,9	Kerusakan banyak bangunan	100	VIII dan IX
7,0-7,3	Kerusakan serius, jembatan-jembatan terpuntir, tembok-tembok retak	15	X
7,4-7,9	Kerusakan besar, bangunan-bangunan ambruk	4	XI
>8,0	Kerusakan total, gelombang-gelombang terasa di permukaan tanah, benda-benda terlempar	Satu kali dalam 5-10 Tahun	XII

Sumber : Skinner dan Porter (1992:418)

2.6 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari

suatu bangunan sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang menyebabkan runtuhnya lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total seluruh struktur (Sudarmoko, 1996). SK SNI T-15-1991-03 mendefinisikan kolom sebagai komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban angin. Beban sebuah bangunan dimulai dari atap yang akan meneruskan beban yang diterima ke kolom. Seluruh beban yang diterima kolom didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya. Sehingga, sebuah bangunan akan aman dari kerusakan apabila besar dan jenis pondasi sesuai dengan perhitungan. Namun, kondisi tanah juga harus dapat menerima beban dari pondasi. Kolom menerima beban dan meneruskannya ke pondasi, sehingga pondasi yang dibuat harus kuat terutama untuk konstruksi bangunan bertingkat.

2.7 Kekakuan Struktur

Kekakuan struktur tiap kolom dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$K = \frac{12EI}{L^3} \quad (2.8)$$

dengan,

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (2.9)$$

dimana:

K merupakan kekakuan kolom (kg/m)

I merupakan momen inersia (m⁴)

L merupakan panjang kolom (m)

B dan h merupakan dimensi kolom (m)

E merupakan modulus elastisitas beton yaitu $4700\sqrt{f'c}$ (kg/m²)

karena beton yang digunakan pada tugas akhir adalah beton *ready mix* K-300 maka $f_c' = 25$

2.8 Metode State Space

State space merupakan ruang berdimensi n dengan sumbu-sumbu x_1, x_2, \dots, x_n . Setiap *state* (keadaan) dapat terletak di suatu titik di dalam ruang tersebut.

Dalam metode state space, terdapat 3 variabel utama yang digunakan dalam analisis, yaitu:

1. Variabel-variabel *input*
2. Variabel-variabel *output*
3. Variabel-variabel *state*

Dalam representasi state space, jumlah variabel state yang digunakan adalah sama untuk sistem yang sama. Persamaan metode State Space adalah sebagai berikut:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2.10)$$

$$y = Cx + Du \quad (2.11)$$

dengan,

\dot{x} adalah matriks turunan dari matriks x

u adalah matriks *input*

y adalah matriks *output*

A, B, C, D adalah matriks variabel state space

2.9 Evaluasi Kinerja Struktur

2.9.1 Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan (berdasarkan pasal 8.1.1 SNI 03-1726-2002) struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh Gempa Rencana, untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh Gempa Nominal yang telah dibagi faktor skala.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh

melampaui $0,03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya kecil.

2.9.2 Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antartingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan, untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela dilatasi). Sesuai pasal 4.3.3 simpangan dan simpangan antartingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ζ sebagai berikut:

a. untuk gedung beraturan

$$\zeta = 0,7R \quad (2.12)$$

b. untuk gedung tidak beraturan

$$\zeta = \frac{0,7R}{\text{Faktor Skala}} \quad (2.13)$$

dimana R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut dan Faktor Skala adalah sebagai berikut,

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,8V_1}{V_t} \geq 1 \quad (2.14)$$

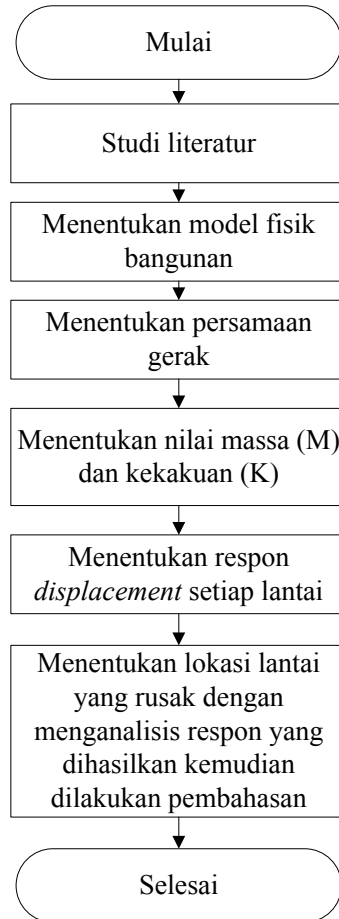
Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung, tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

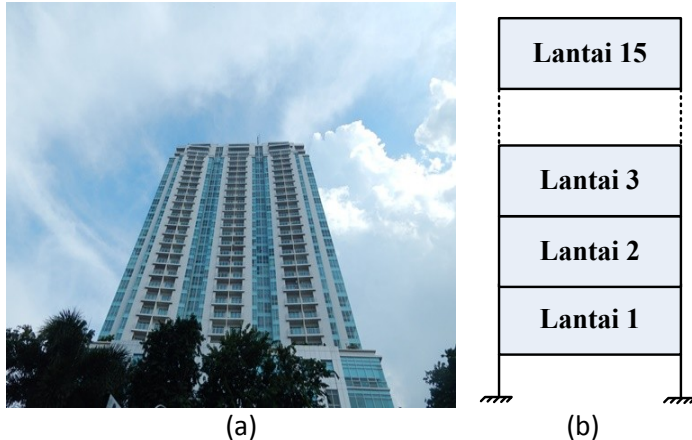
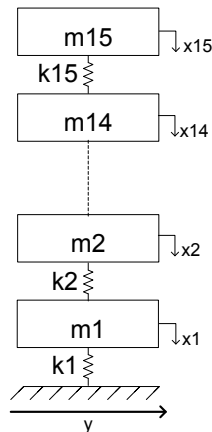
3.1 Diagram Alir

Dalam tugas akhir ini, terdapat beberapa tahapan sesuai dengan diagram alir di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir**3.2 Model Fisik Bangunan**

Bentuk fisik bangunan bertingkat limabelas dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

**Gambar 3.2** Model fisik bangunan bertingkat limabelas**Gambar 3.3** Sistem massa-pegas bangunan bertingkat limabelas

Dari gambar 3.3 gerakan tanah secara mendatar digambarkan dengan perubahan posisi y .

Persamaan gerak untuk masing-masing lantai bangunan berdasarkan gambar 3.3 adalah sebagai berikut:

Lantai 1

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) = k_1 y$$

Lantai 2

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) + k_3 (x_2 - x_3) = 0$$

Lantai 3

$$m_3 \ddot{x}_3 + k_3 (x_3 - x_2) + k_4 (x_3 - x_4) = 0$$

Lantai 4

$$m_4 \ddot{x}_4 + k_4 (x_4 - x_3) + k_5 (x_4 - x_5) = 0$$

Lantai 5

$$m_5 \ddot{x}_5 + k_5 (x_5 - x_4) + k_6 (x_5 - x_6) = 0$$

Lantai 6

$$m_6 \ddot{x}_6 + k_6 (x_6 - x_5) + k_7 (x_6 - x_7) = 0$$

Lantai 7

$$m_7 \ddot{x}_7 + k_7 (x_7 - x_6) + k_8 (x_7 - x_8) = 0$$

Lantai 8

$$m_8 \ddot{x}_8 + k_8 (x_8 - x_7) + k_9 (x_8 - x_9) = 0$$

Lantai 9

$$m_9 \ddot{x}_9 + k_9 (x_9 - x_8) + k_{10} (x_9 - x_{10}) = 0$$

Lantai 10

$$m_{10} \ddot{x}_{10} + k_{10} (x_{10} - x_9) + k_{11} (x_{10} - x_{11}) = 0$$

Lantai 11

$$m_{11} \ddot{x}_{11} + k_{11} (x_{11} - x_{10}) + k_{12} (x_{11} - x_{12}) = 0$$

Lantai 12

$$m_{12} \ddot{x}_{12} + k_{12} (x_{12} - x_{11}) + k_{13} (x_{12} - x_{13}) = 0$$

Lantai 13

$$m_{13} \ddot{x}_{13} + k_{13} (x_{13} - x_{12}) + k_{14} (x_{13} - x_{14}) = 0$$

Lantai 14

$$m_{14} \ddot{x}_{14} + k_{14} (x_{14} - x_{13}) + k_{15} (x_{14} - x_{15}) = 0$$

Lantai 15

$$m_{15} \ddot{x}_{15} + k_{15} (x_{15} - x_{14}) = 0$$

dengan x pada persamaan gerak di atas adalah simpangan akibat getaran gempa. Respon getaran untuk masing-masing lantai akan diperoleh dengan menggunakan metode State Space.

Gaya pengganggu y ditentukan dari amplitudo terbesar gempa bumi berkekuatan 5 Skala Richter, 6 Skala Richter, 7 Skala Richter dan 8 Skala Richter dengan durasi masing-masing 60 detik. Gempa bumi berkekuatan 5 Skala Richter, 6 Skala Richter, 7 Skala Richter dan 8 Skala Richter merupakan gempa yang sering terjadi di Indonesia. Kenaikan Skala Richter sebesar 0,5 tidak banyak mempengaruhi besar amplitudo yang didapat. Sehingga dalam tugas akhir ini, gaya gempa yang diambil adalah bilangan bulat 5, 6, 7, dan 8 Skala Richter.

3.3 Menentukan Massa dan Kekakuan

3.3.1 Menentukan Massa

Massa untuk bangunan bertingkat limabelas merupakan massa tergumpal yang konsentrasi beban akan terpusat pada setiap lantai tingkat bangunan.

Massa setiap lantai dihitung didapat dari penjumlahan dari massa setengah kolom ke atas, massa setengah kolom ke bawah, massa balok, massa lantai, dan massa penutup keramik.

3.3.2 Menentukan Kekakuan

Kekakuan setiap lantai dari bangunan bertingkat limabelas didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K = \frac{12EI}{L^3} \text{ dengan } I = \frac{1}{12}bh^3$$

dimana:

K merupakan kekakuan kolom (kg/cm)

I merupakan momen inersia (cm⁴)

L merupakan panjang kolom (cm)

B dan h merupakan dimensi kolom (cm)

E merupakan modulus elastisitas beton yaitu $4700\sqrt{f'c'}$ (mpa atau kg/cm²)

Karena beton yang digunakan pada tugas akhir adalah beton ready mix K-300 maka $f'c' = 25$

3.4 Data Bangunan Objek Tugas Akhir

Berikut merupakan data bangunan yang digunakan sebagai objek dalam tugas akhir:

Luas bangunan	: 20 m x 15 m = 400 m ²
Massa lantai 1	: 257.926 kg
Massa lantai 2-15	: 237.605 kg
Kekakuan lantai 1	: 69304.32 kg/cm
Kekakuan lantai 2-15	: 202053.42 kg/cm
Jumlah kolom per lantai	: 9 buah
Dimensi kolom	: 80x80 cm
Panjang kolom lantai 1	: 5 m
Panjang kolom lantai 2-15	: 3.5 m

3.5 Pemodelan State Space

Pemodelan State Space merupakan metode analisis untuk memodelkan sistem yang kompleks, yang digunakan untuk menganalisis sistem dengan banyak *input* dan banyak *output* atau MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Parameter-parameter State Space adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du\end{aligned}$$

\dot{x} adalah matriks turunan dari matriks x , u adalah matriks *input*, dan y adalah matriks *output*, serta A , B , C , D adalah matriks parameter state space. Matriks A , B , C , D didapatkan dari merekonstruksi persamaan gerak setiap lantai menjadi satu kesatuan matriks.

Matriks A merupakan matriks dengan ukuran 30x30, sehingga untuk memudahkan penulisan maka matriks tersebut dipotong menjadi 15 matriks sebagai berikut:

$$A = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix}$$

dan matriks a, b, c, d, e, f, g, h, dan i adalah sebagai berikut:

$$a = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-(k1 - k2)}{m1} & 0 & \frac{k2}{m1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{k2}{m2} & 0 & \frac{-(k2 - k3)}{m2} & 0 & \frac{k3}{m2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{k3}{m3} & 0 & \frac{-(k3 - k4)}{m3} & 0 & \frac{k4}{m3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{k4}{m4} & 0 & \frac{-(k4 - k5)}{m3} & 0 & \frac{k5}{m4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{k5}{m5} & 0 & \frac{-(k5 - k6)}{m5} & 0 \end{bmatrix}$$

$$e =$$

$$f =$$

$\sigma =$

$$\begin{aligned}
\mathbf{h} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{k_{11}}{m_{11}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\
\mathbf{i} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-(k_{11} - k_{12})}{m_{11}} & 0 & \frac{k_{12}}{m_{11}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{k_{12}}{m_{12}} & 0 & \frac{-(k_{12} - k_{13})}{m_{12}} & 0 & \frac{k_{13}}{m_{12}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{k_{13}}{m_{13}} & 0 & \frac{-(k_{13} - k_{14})}{m_{13}} & 0 & \frac{k_{14}}{m_{13}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{k_{14}}{m_{14}} & 0 & \frac{-(k_{14} - k_{15})}{m_{14}} & 0 & \frac{k_{15}}{m_{14}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{k_{15}}{m_{15}} & 0 & \frac{-(k_{15} - k_{14})}{m_{15}} & 0 & 0 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Matriks B merupakan matriks dengan ukuran 1x30 yang dipotong menjadi dua bagian dan dituliskan sebagai berikut:

$$B = \begin{pmatrix} b1 \\ b2 \end{pmatrix}$$

[illegible]

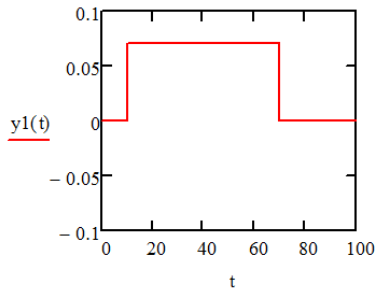
$$\mathbf{d2} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T$$

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Sinyal Pengganggu

Sinyal pengganggu yang didapat dari gempa bumi berkekuatan 5 SR, 6 SR, 7 SR, dan 8 SR adalah sebagai berikut:

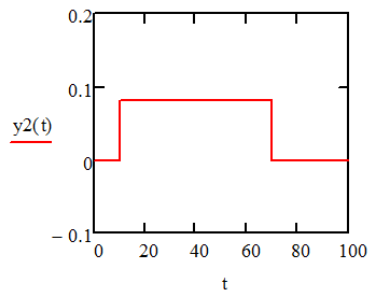
$$y1(t) = 0.07(\phi(t - 10) - \phi(t - 70)) \quad (4.1)$$



Gambar 4.1 Gaya pengganggu 5 SR dengan durasi 60 detik

Sinyal pengganggu $y1(t)$ pada gambar 4.1 merupakan getaran yang diakibatkan oleh gempa 5 Skala Richter dengan amplitudo maksimum 0,07 pada detik ke-10 sampai detik ke-70.

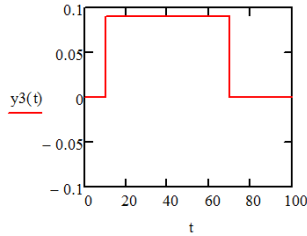
$$y2(t) = 0.08(\phi(t - 10) - \phi(t - 70)) \quad (4.2)$$



Gambar 4.2 Gaya pengganggu 6 SR dengan durasi 60 detik

Sinyal pengganggu $y_2(t)$ pada gambar 4.2 merupakan getaran yang diakibatkan oleh gempa 6 Skala Richter dengan amplitudo maksimum 0,08 pada detik ke-10 sampai detik ke-70.

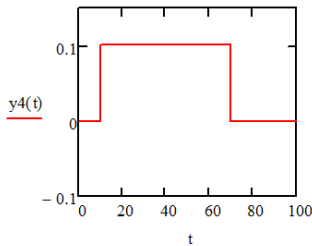
$$y_3(t) = 0.09(\phi(t - 10) - \phi(t - 70)) \quad (4.3)$$



Gambar 4.3 Gaya pengganggu 7 SR dengan durasi 60 detik

Sinyal pengganggu $y_3(t)$ pada gambar 4.3 merupakan getaran yang diakibatkan oleh gempa 7 Skala Richter dengan amplitudo maksimum 0,09 pada detik ke-10 sampai detik ke-70.

$$y_4(t) = 0.101(\phi(t - 10) - \phi(t - 70)) \quad (4.4)$$

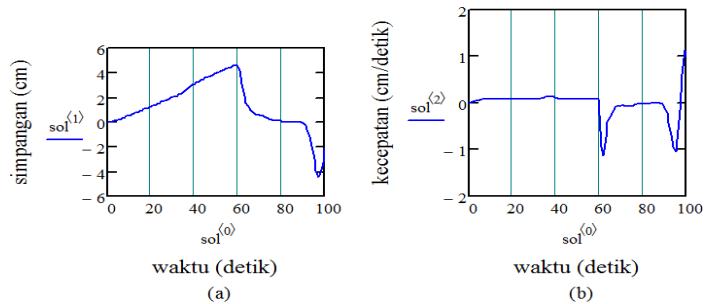


Gambar 4.4 Gaya pengganggu 8 SR dengan durasi 60 detik

Sinyal pengganggu $y_4(t)$ pada gambar 4.4 merupakan getaran yang diakibatkan oleh gempa 8 Skala Richter dengan amplitudo maksimum 0,101 pada detik ke-10 sampai detik ke-70.

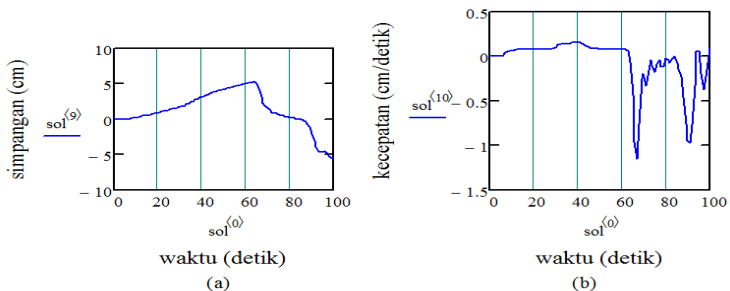
4.2 Respons Setiap Lantai untuk Gempa 5 SR

Berikut merupakan respons vibrasi yang berupa simpangan (cm) setelah diberikan gaya pengganggu berupa gempa bumi berkekuatan 5 Skala Richter untuk lantai 1, 5, 10 dan 15.



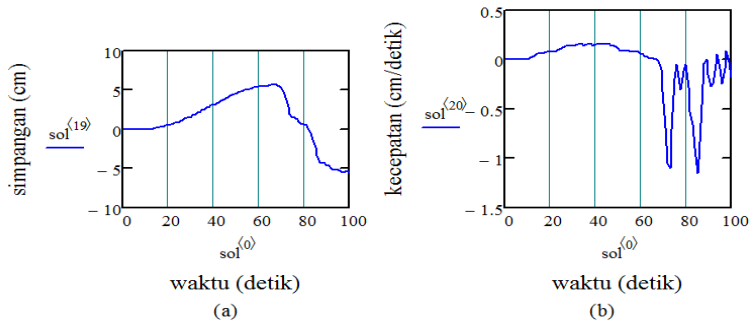
Gambar 4.5 Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.5 (a) adalah respons simpangan lantai 1 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 4,69 cm pada detik ke-60 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 1,12 cm.



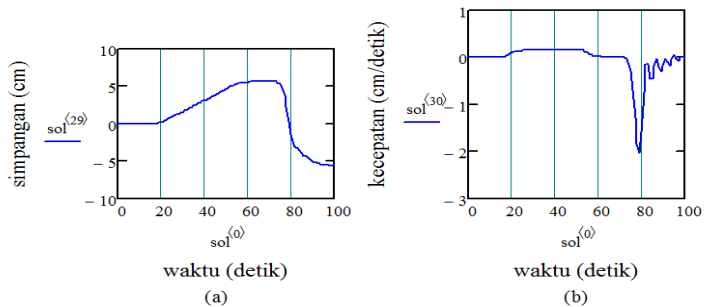
Gambar 4.6 Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.6 (a) adalah respons simpangan lantai 5 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 5,25 cm pada detik ke-65 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,15 cm.



Gambar 4.7 Respons lantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.7 (a) adalah respons simpangan lantai 10 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 5,58 cm pada detik ke-68 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,15 cm.

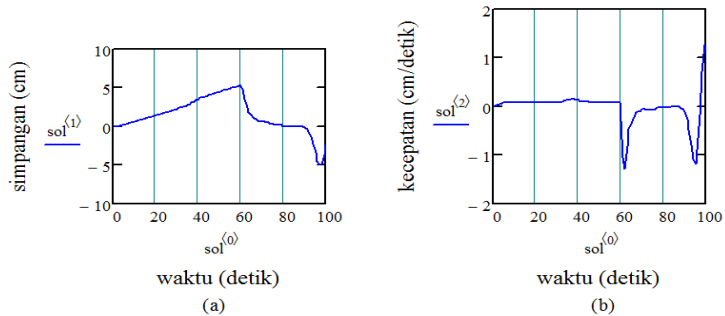


Gambar 4.8 Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.8 (a) adalah respons simpangan lantai 15 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 5,61 cm detik ke-68 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,15 cm.

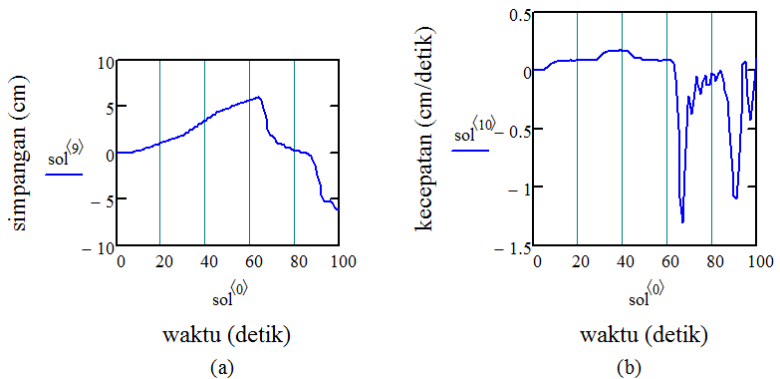
4.3 Respons Setiap Lantai untuk Gempa 6 SR

Berikut merupakan respons vibrasi yang berupa simpangan (cm) setelah diberikan gaya pengganggu berupa gempa bumi berkekuatan 6 Skala Richter untuk lantai 1, 5, 10 dan 15.



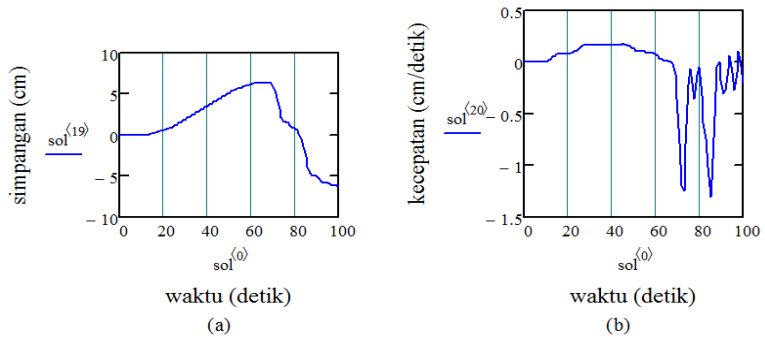
Gambar 4.9 Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.9 (a) adalah respons simpangan lantai 1 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 5,32 cm detik ke-61 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 1,27 cm.



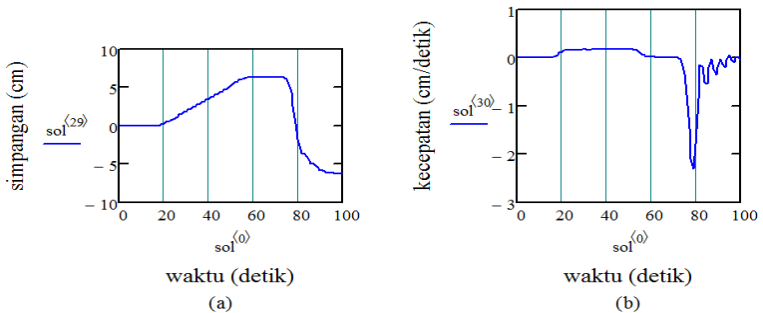
Gambar 4.10 Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.10 (a) adalah respons simpangan lantai 5 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 5,96 cm detik ke-64 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,17 cm.



Gambar 4.11 Respons lantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.11 (a) adalah respons simpangan lantai 10 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 6,34 cm detik ke-69 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,17 cm.

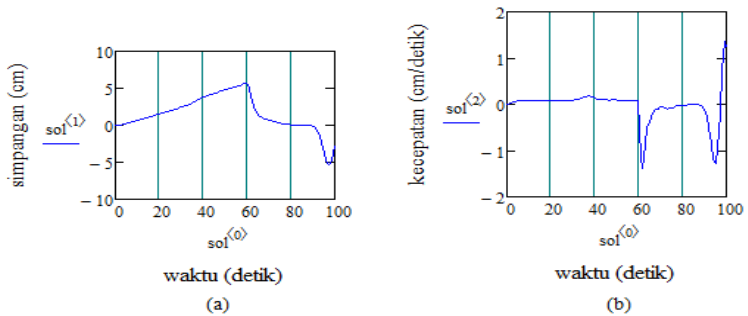


Gambar 4.12 Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.12 (a) adalah respons simpangan lantai 15 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 6,36 cm detik ke-71 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,18 cm.

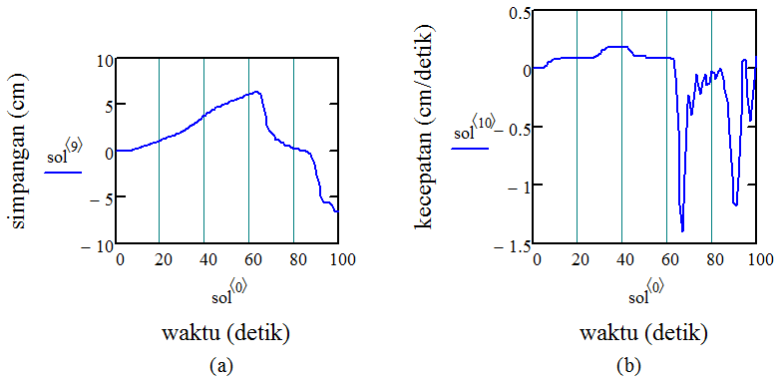
4.4 Respons Setiap Lantai untuk Gempa 7 SR

Berikut merupakan respons vibrasi yang berupa simpangan (cm) setelah diberikan gaya pengganggu berupa gempa bumi berkekuatan 7 Skala Richter untuk lantai 1, 5, 10 dan 15.



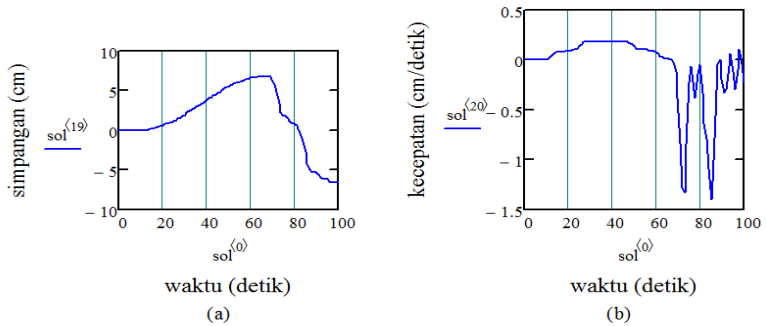
Gambar 4.13 Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.13 (a) adalah respons simpangan lantai 1 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 5,68 cm pada detik ke-60 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 1,35 cm.



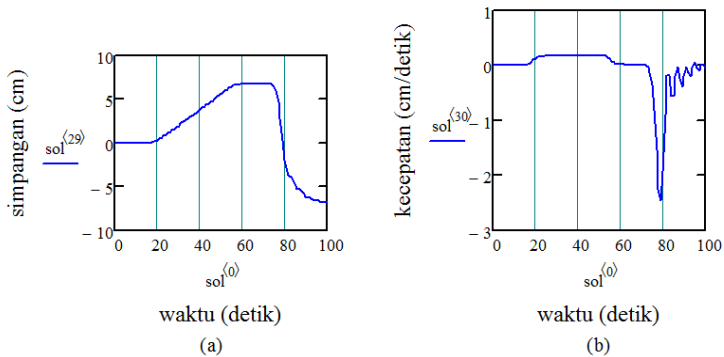
Gambar 4.14 Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.14 (a) adalah respons simpangan lantai 5 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 6,37 cm detik ke-64 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,19 cm.



Gambar 4.15 Respons lantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.15 (a) adalah respons simpangan lantai 10 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 6,77 cm detik ke-67 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,19 cm.

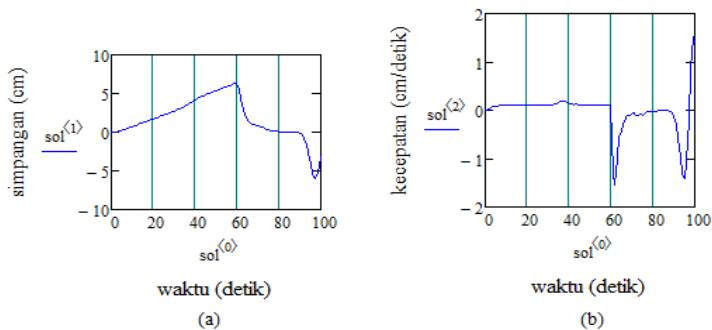


Gambar 4.16 Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.16 (a) adalah respons simpangan lantai 15 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 6,80 cm detik ke-68 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,19 cm.

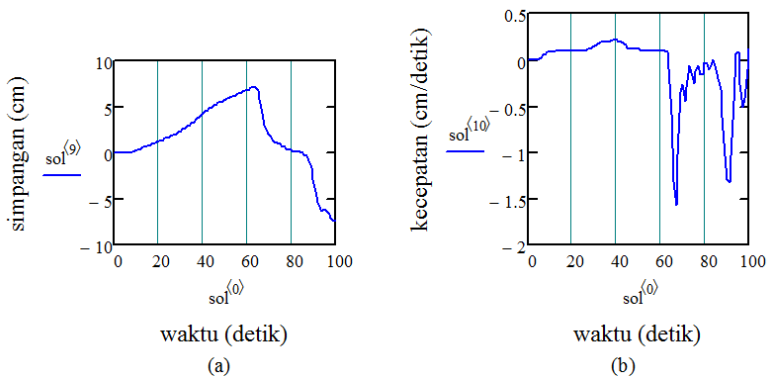
4.5 Respons Setiap Lantai untuk Gempa 8 SR

Berikut merupakan respons vibrasi yang berupa simpangan (cm) setelah diberikan gaya pengganggu berupa gempa bumi berkekuatan 8 Skala Richter untuk lantai 1, 5, 10 dan 15.



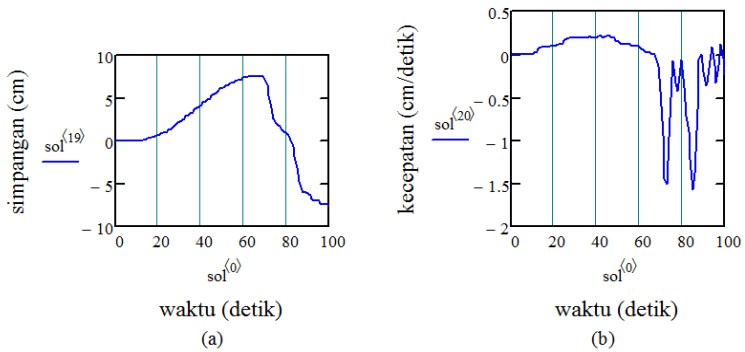
Gambar 4.17 Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.13 (a) adalah respons simpangan lantai 1 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 6,38 cm detik ke-60 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 1,52 cm.



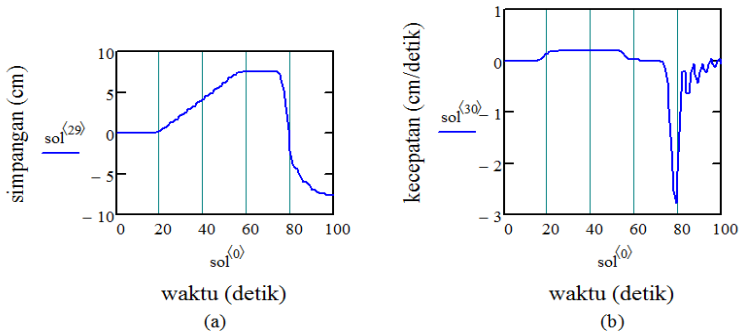
Gambar 4.18 Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.14 (a) adalah respons simpangan lantai 5 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 7,15 cm detik ke-64 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,21 cm.



Gambar 4.19 Respons lantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.15 (a) adalah respons simpangan lantai 10 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 7,60 cm detik ke-67 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,21 cm.



Gambar 4.20 Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan

Pada gambar 4.16 (a) adalah respons simpangan lantai 15 yang memiliki simpangan maksimum sebesar 7,63 cm detik ke-72 dan amplitudo maksimum kecepatan sebesar 0,21 cm.

4.6 Kinerja Batas Layan Setiap Lantai

Hasil analisis respons vibrasi didapatkan pergeseran (*displacement*) maksimum untuk setiap lantai untuk setiap gaya pengganggu yang diberikan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 5 SR

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Terjadi (cm)	Simpangan Ijin (cm)
1	5	4,69	2,6
2	3,5	4,80	1,8
3	3,5	4,94	1,8
4	3,5	5,09	1,8
5	3,5	5,25	1,8
6	3,5	5,39	1,8
7	3,5	5,50	1,8
8	3,5	5,55	1,8
9	3,5	5,57	1,8
10	3,5	5,58	1,8
11	3,5	5,60	1,8
12	3,5	5,60	1,8
13	3,5	5,60	1,8
14	3,5	5,61	1,8
15	3,5	5,61	1,8

Dari tabel 4.1 tampak simpangan antar tingkat yang terjadi pada semua lantai berada di atas simpangan ijin yang diperbolehkan sesuai pasal 8.1.2 SNI-1796-2002, sehingga struktur bangunan mengalami kerusakan di setiap lantai akibat gempa dengan kekuatan 5 Skala Richter dengan kerusakan paling parah terdapat di lantai 14 dan lantai 15 dengan simpangan maksimum sebesar 5,61 cm.

Tabel 4.2 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 6 SR

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Terjadi (cm)	Simpangan Ijin (cm)
1	5	5,32	2,6
2	3,5	5,45	1,8
3	3,5	5,61	1,8
4	3,5	5,78	1,8

5	3,5	5,96	1,8
6	3,5	6,11	1,8
7	3,5	6,24	1,8
8	3,5	6,30	1,8
9	3,5	6,32	1,8
10	3,5	6,34	1,8
11	3,5	6,35	1,8
12	3,5	6,36	1,8
13	3,5	6,36	1,8
14	3,5	6,36	1,8
15	3,5	6,36	1,8

Dari tabel 4.2 tampak simpangan antar tingkat yang terjadi pada semua lantai berada di atas simpangan ijin yang diperbolehkan sesuai pasal 8.1.2 SNI-1796-2002, sehingga struktur bangunan mengalami kerusakan di setiap lantai akibat gempa dengan kekuatan 6 Skala Richter dengan kerusakan paling parah terdapat di lantai 12, lantai 13, lantai 14 dan lantai 15 dengan simpangan maksimum sebesar 6,36 cm.

Tabel 4.3 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 7 SR

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Terjadi (cm)	Simpangan Ijin (cm)
1	5	5,68	2,6
2	3,5	5,83	1,8
3	3,5	6,00	1,8
4	3,5	6,18	1,8
5	3,5	6,37	1,8
6	3,5	6,53	1,8
7	3,5	6,67	1,8
8	3,5	6,73	1,8
9	3,5	6,75	1,8
10	3,5	6,77	1,8
11	3,5	6,79	1,8
12	3,5	6,79	1,8

13	3,5	6,80	1,8
14	3,5	6,80	1,8
15	3,5	6,80	1,8

Dari tabel 4.3 tampak simpangan antar tingkat yang terjadi pada semua lantai berada di atas simpangan ijin yang diperbolehkan sesuai pasal 8.1.2 SNI-1796-2002, sehingga struktur bangunan mengalami kerusakan di setiap lantai akibat gempa dengan kekuatan 7 Skala Richter dengan kerusakan paling parah terdapat di lantai 13, lantai 14 dan lantai 15 dengan simpangan maksimum sebesar 6,80 cm.

Tabel 4.4 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 8 SR

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Terjadi (cm)	Simpangan Ijin (cm)
1	5	6,38	2,6
2	3,5	6,54	1,8
3	3,5	6,73	1,8
4	3,5	6,93	1,8
5	3,5	7,15	1,8
6	3,5	7,33	1,8
7	3,5	7,48	1,8
8	3,5	7,55	1,8
9	3,5	7,58	1,8
10	3,5	7,60	1,8
11	3,5	7,62	1,8
12	3,5	7,62	1,8
13	3,5	7,63	1,8
14	3,5	7,63	1,8
15	3,5	7,63	1,8

Dari tabel 4.4 tampak simpangan antar tingkat yang terjadi pada semua lantai berada di atas simpangan ijin yang diperbolehkan sesuai pasal 8.1.2 SNI-1796-2002, sehingga struktur bangunan mengalami kerusakan di setiap lantai akibat

gempa dengan kekuatan 8 Skala Richter dengan kerusakan paling parah terdapat di lantai 13, lantai 14 dan lantai 15 dengan simpangan maksimum sebesar 7,63 cm.

4.7 Kinerja Batas Ultimit Setiap Lantai

Hasil analisis pergeseran (*displacement*) atau simpangan maksimum setiap lantai untuk setiap gaya pengganggu yang diberikan dalam kondisi bangunan diambang keruntuhan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 5 SR

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Terjadi (cm)	Simpangan Ijin (cm)
1	5	4,69	10
2	3,5	4,80	7
3	3,5	4,94	7
4	3,5	5,09	7
5	3,5	5,25	7
6	3,5	5,39	7
7	3,5	5,50	7
8	3,5	5,55	7
9	3,5	5,57	7
10	3,5	5,58	7
11	3,5	5,60	7
12	3,5	5,60	7
13	3,5	5,60	7
14	3,5	5,61	7
15	3,5	5,61	7

Tabel 4.6 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 6 SR

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Terjadi (cm)	Simpangan Ijin (cm)
1	5	5,32	10
2	3,5	5,45	7
3	3,5	5,61	7
4	3,5	5,78	7
5	3,5	5,96	7
6	3,5	6,11	7
7	3,5	6,24	7
8	3,5	6,30	7
9	3,5	6,32	7
10	3,5	6,34	7
11	3,5	6,35	7
13	3,5	6,36	7
14	3,5	6,36	7
15	3,5	6,36	7

Tabel 4.7 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 7 SR

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Terjadi (cm)	Simpangan Ijin (cm)
1	5	5,68	10
2	3,5	5,83	7
3	3,5	6,00	7
4	3,5	6,18	7
5	3,5	6,37	7
6	3,5	6,53	7
7	3,5	6,67	7
8	3,5	6,73	7
9	3,5	6,75	7
10	3,5	6,77	7
11	3,5	6,79	7
12	3,5	6,79	7
13	3,5	6,80	7

14	3,5	6,80	7
15	3,5	6,80	7

Tabel 4.8 Simpangan Setiap Lantai untuk Gempa 8 SR

Lantai	Tinggi (m)	Simpangan Terjadi (cm)	Simpangan Ijin (cm)
1	5	6,38	10
2	3,5	6,54	7
3	3,5	6,73	7
4	3,5	6,93	7
5	3,5	7,15	7
6	3,5	7,33	7
7	3,5	7,48	7
8	3,5	7,55	7
9	3,5	7,58	7
10	3,5	7,60	7
11	3,5	7,62	7
12	3,5	7,62	7
13	3,5	7,63	7
14	3,5	7,63	7
15	3,5	7,63	7

Dari tabel 4.5, tabel 4.6, dan tabel 4.7 tampak simpangan maksimum setiap lantai dengan gaya gempa 5 Skala Richter, 6 Skala Richter, dan 7 Skala Richter berada di bawah besar simpangan ijin yaitu di bawah 10 cm untuk lantai 1 dan 7 cm untuk lantai 2 hingga lantai 15. Namun, ketika diberikan gaya gempa sebesar 8 Skala Richter, lantai 1 hingga lantai 4 masih berada di bawah kinerja batas ultimit sedangkan lantai 5 hingga lantai 15 melebihi kinerja batas ultimit.

Sehingga, sesuai dengan pasal 8.2.2 SNI-1796-2002, struktur bangunan bertingkat limabelas memenuhi kinerja batas ultimit ketika diberikan gaya gempa 5 Skala Richter, 6 Skala Richter, dan 7 Skala Richter atau dengan besar simpangan yang terjadi akibat gempa tersebut, bangunan tidak

akan mengalami kerusakan yang menyebabkan keruntuhan maupun kerugian yang lain. Sedangkan, ketika diberikan gaya gempa sebesar 8 Skala Richter bangunan tersebut sudah mengalami kerusakan yang menyebabkan keruntuhan dari lantai 5 hingga lantai 15.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Kerusakan paling parah yang ditandai dengan simpangan maksimum akibat gempa terjadi di lantai 15, yaitu sebesar 5,61 cm untuk gempa berkekuatan 5 Skala Richter, 6,36 cm untuk gempa berkekuatan 6 Skala Richter, 6,80 cm untuk gempa berkekuatan 7 Skala Richter, dan 7,63 cm untuk gempa berkekuatan 8 Skala Richter.
2. Struktur bangunan bertingkat limabelas tidak memenuhi kinerja batas layan karena simpangan antar tingkat untuk semua gaya gempa yang diberikan melebihi simpangan ijin, yaitu struktur bangunan sebagian besar mengalami keretakan beton akibat semua jenis gempa yang diberikan.
3. Sesuai dengan pasal 8.2.2 SNI-1796-2002, struktur bangunan bertingkat limabelas memenuhi kinerja batas ultimit ketika diberikan gaya gempa 5 Skala Richter, 6 Skala Richter, dan 7 Skala Richter atau dengan besar simpangan yang terjadi akibat gempa tersebut, bangunan tidak akan mengalami kerusakan yang menyebabkan keruntuhan maupun kerugian yang lain. Sedangkan, ketika diberikan gaya gempa sebesar 8 Skala Richter bangunan tersebut sudah mengalami kerusakan yang menyebabkan keruntuhan dari lantai 15 hingga lantai 5.

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Tuan, Alex Y. dan Shang, G. Q. 2014. *Vibration Control in a 101-Storey Building Using a Tuned Mass Damper*. Journal of Applied Science and Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 141-156
- Kondo, I. dan Hamamoto, T. 1996. *Seismic Damage Detection of Multi-story Buildings Using Vibration Monitoring*. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering Paper No. 988
- Huang, Q. dkk. 2012. *Structural Damage Detection of Controlled Building Structures Using Frequency Response Functions*. Journal of Sound and Vibration 331, 3476-3492
- Jayanti, Melita Putri. 2013. *Penentuan Parameter Dynamic Absorber sebagai Peredam Getaran Akibat Gempa pada Bangunan Bertingkat Limabelas dengan Pemodelan Massa Tergumpal*. Surabaya: Teknik Fisika ITS
- Pranaya, Ginanjar. 2011. *Penentuan Parameter Dynamic Absorber dan Peletakannya sebagai Peredam getaran Akibat Gempa pada Bangunan Bertingkat Tiga*. Surabaya: Teknik Fisika ITS
- Erlita, Etania. 2008. *Penentuan Nilai Parameter Peredam Getaran Akibat Gempa pada Bangunan Berlantai Tiga*. Surabaya: Teknik Fisika ITS
- Lumantarna, Benjamin. 2001. *Pengantar Analisis Dinamis dan Gempa*. Yogyakarta: Penerbit ANDI
- SNI 03-1726-2002. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Kimpraswil PU
- Edwiza, Daz. 2008. *Analisis Terhadap Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa Sumbar*. ISSN: 0854-8471 No. 29 Vol.1 Thn. XV April 2008
- Iskandarsyah, Helmy. 2009. *Analisis Respon Spektrum pada Bangunan yang Menggunakan Yielding Damper Akibat*

Gaya Gempa. Medan: Departemen Teknik Sipil
Universitas Sumatera Utara

<http://www.signalreadymix.co/pertanyaan-dan-jawaban-seputar-permasalahan-konstruksi-beton#popup>. diakses pada 12 September 2016.

<http://duniatekniksipil.web.id/1152/dasar-dasar-beton-4-komposisi-dan-pemcampuran-beton/>. diakses pada 12 September 2016.

http://www.pionirbeton.com/beton_ready_mix.php. diakses pada 12 September 2016.

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN MASSA DAN KEKAKUAN

a. Menentukan Massa Setiap Lantai Bangunan Bertingkat Limabelas

Luas bangunan : 20m x 15 m = 400 m²

▪ Perhitungan Massa untuk Lantai 1

Berat untuk setiap bagian pada lantai 1

Penutup lantai (keramik)	: 24kg/m ² x luas bangunan = 24kg/m ² x 400m ²	= 7200 kg
Lantai	: 288kg/m ² x luas bangunan = 288kg/m ² x 400m ²	= 86400 kg
Balok 1	: panjang bentang balok x tinggi x lebar x bj beton x jumlah 10m x 1m x 0.5m x 2400 kg/m ² x 4	= 48000 kg
Balok 2	: panjang bentang balok x tinggi x lebar x bj beton x jumlah 7.5m x 0.7m x 0.35m x 2400 kg/m ² x 6	= 26460 kg
Balok Anak	: panjang bentang balok x tinggi x lebar x bj beton x jumlah 10m x 0.85m x 0.425m x 2400 kg/m ² x 4	= 26010 kg
Setengah kolom ke bawah	: panjang x lebar x tinggi kolom per lantai x bj beton x jumlah 0.8m x 0.8m x 2.5m x 2400 kg/m ² x 9	= 34560 kg
Setengah kolom ke atas	: panjang x lebar x tinggi kolom per lantai x bj beton x jumlah 0.8m x 0.8m x 2.5m x 2400 kg/m ² x 9	= 34560 kg +

Berat total lantai 1

= 263190 kg

Sehingga, massa lantai 1 menjadi : 263190 kg x 0.98 = 257926 kg

▪ Perhitungan Massa untuk Lantai 2 sampai 15

Berat untuk setiap bagian pada lantai 2 - 15

Penutup lantai (keramik)	: 24kg/m ² x luas bangunan = 24kg/m ² x 400m ²	= 7200 kg
Lantai	: 288kg/m ² x luas bangunan = 288kg/m ² x 400m ²	= 86400 kg
Balok 1	: panjang bentang balok x tinggi x lebar x bj beton x jumlah 10m x 1m x 0.5m x 2400 kg/m ² x 4	= 48000 kg
Balok 2	: panjang bentang balok x tinggi x lebar x bj beton x jumlah 7.5m x 0.7m x 0.35m x 2400 kg/m ² x 6	= 26460 kg
Balok Anak	: panjang bentang balok x tinggi x lebar x bj beton x jumlah 10m x 0.85m x 0.425m x 2400 kg/m ² x 4	= 26010 kg
Setengah kolom ke bawah	: panjang x lebar x tinggi kolom per lantai x bj beton x jumlah 0.8m x 0.8m x 2.5m x 2400 kg/m ² x 9	= 34560 kg
Setengah kolom ke atas	: panjang x lebar x tinggi kolom per lantai x bj beton x jumlah 0.8m x 0.8m x 2.5m x 2400 kg/m ² x 9	= 34560 kg +

Berat total lantai 1

= 242454 kg

Sehingga, massa lantai 1 menjadi : 263190 kg x 0.98 = 237605 kg

b. Menentukan Kekakuan Kolom Setiap Lantai Bangunan Bertingkat Limabelas

Untuk menentukan kekakuan, maka digunakan persamaan:

$$K = \frac{12EI}{L^3} \text{ dengan } I = \frac{1}{12}bh^3$$

dimana:

K merupakan kekakuan kolom (kg/cm)

I merupakan momen inersia (cm⁴)

L merupakan panjang kolom (cm)

B dan h merupakan dimensi kolom (cm)

E merupakan modulus elastisitas beton yaitu $4700\sqrt{f'c'}$ (mpa atau kg/cm²)

*karena beton yang digunakan pada tugas akhir adalah beton ready mix K-300 maka $f'c' = 25$

Diketahui:

L kolom lantai 1 = 500 cm

L kolom pada lantai 2-15 = 350 cm

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 80 \times 80^3 = 3413333 \text{ cm}^4$$

$$\text{Modulus elastisitas} = 4700\sqrt{f'c'} = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ mpa atau kg/cm}^2$$

Kekakuan kolom pada lantai 1

$$K = \frac{12EI}{L^3} = \frac{12 \times 23500 \times 3413333}{500^3} = 7700.48 \text{ kg/cm}$$

Jumlah kolom pada setiap lantai adalah 9, sehingga: $7700.48 \text{ kg/cm} \times 9 = 69304.32 \text{ kg/cm}$

Kekakuan kolom pada lantai 2-15

$$K = \frac{12EI}{L^3} = \frac{12 \times 23500 \times 3413333}{350^3} = 22450.38 \text{ kg/cm}$$

Jumlah kolom pada setiap lantai adalah 9, sehingga: $22450.38 \text{ kg/cm} \times 9 = 202053.42 \text{ kg/cm}$

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN AMPLITUDO GETARAN GEMPA

Gaya pengganggu yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah amplitudo dari gempa bumi berkekuatan 5 Skala Richer, 6 Skala Richer, 7 Skala Richer, dan 8 Skala Richer yang didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut:

- Untuk gempa berkekuatan 5 SR adalah sebagai berikut:

Diketahui: $E = 1.9 \times 10^{12}$

$$A_0 = 10^{-3}$$

Rumus Guttentberg:

$$10 \log E = 11.4 + 1.5M$$

$$10 \log 1.9 \times 10^{12} = 11.4 + 1.5 M$$

$$M = 74.2$$

$$M = \log 10^A - \log 10^{A_0}$$

$$74.2 = \log 10^A - \log 10^{-3}$$

$$74.2 = \log 10^A - (-3)$$

$$74.2 = \log 10^A$$

$$A = \frac{84.25}{\log 10}$$

$$A = 74.2 \text{ mm}$$

$$A = 7.42 \text{ cm}$$

- Untuk gempa berkekuatan 6 SR adalah sebagai berikut:

Diketahui: $E = 6 \times 10^{13}$

$$A_0 = 10^{-3}$$

Rumus Guttentberg:

$$10 \log E = 11.4 + 1.5M$$

$$10 \log 6 \times 10^{13} = 11.4 + 1.5 M$$

$$M = 84.25$$

$$M = \log 10^A - \log 10^{A_0}$$

$$84.25 = \log 10^A - \log 10^{-3}$$

$$84.25 = \log 10^A - (-3)$$

$$84.25 = \log 10^A$$

$$A = \frac{84.25}{\log 10}$$

$$A = 84.2 \text{ mm}$$

$$A = 8.42 \text{ cm}$$

- Untuk gempa berkekuatan 7 SR adalah sebagai berikut:

$$\text{Diketahui: } E = 2 \times 10^{15}$$

$$A_0 = 10^{-3}$$

Rumus Gutttenberg:

$$10 \log E = 11.4 + 1.5M$$

$$10 \log 2 \times 10^{15} = 11.4 + 1.5 M$$

$$M = 94.4$$

$$M = \log 10^A - \log 10^{A_0}$$

$$94.4 = \log 10^A - \log 10^{-3}$$

$$94.4 = \log 10^A - (-3)$$

$$91.4 = \log 10^A$$

$$A = \frac{91.4}{\log 10}$$

$$A = 91.4 \text{ mm}$$

$$A = 9.14 \text{ cm}$$

- Untuk gempa berkekuatan 8 SR adalah sebagai berikut:

$$\text{Diketahui: } E = 63 \times 10^{15}$$

$$A_0 = 10^{-3}$$

Rumus Gutttenberg:

$$10 \log E = 11.4 + 1.5M$$

$$10 \log 63 \times 10^{15} = 11.4 + 1.5 M$$

$$M = 104.4$$

$$M = \log 10^A - \log 10^{A_0}$$

$$104.4 = \log 10^A - \log 10^{-3}$$

$$104.4 = \log 10^A - (-3)$$

$$101.4 = \log 10^A$$

$$A = \frac{101.4}{\log 10}$$

$$A = 101.4 \text{ mm}$$

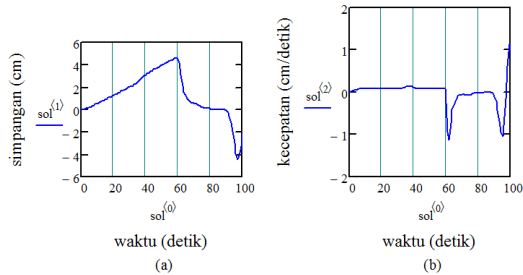
$$A = 10.1 \text{ cm}$$

LAMPIRAN C

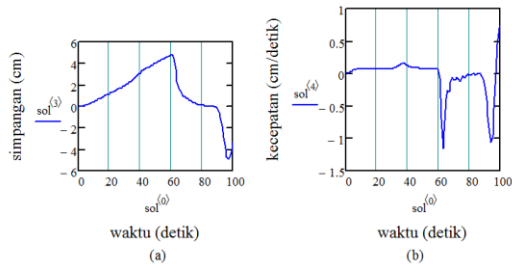
HASIL RESPONS SIMPANGAN SETIAP LANTAI

1. Gempa Berkekuatan 5 Skala Richter

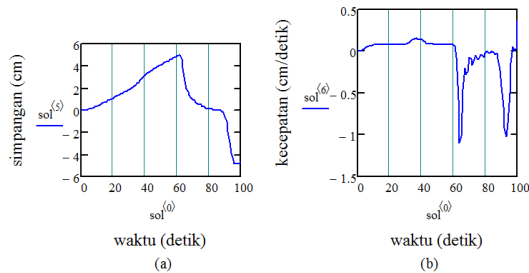
Berikut merupakan hasil respons vibrasi yang ditandai dengan besar simpangan dan kecepatan maksimum akibat gempa berkekuatan 5 Skala Richter.



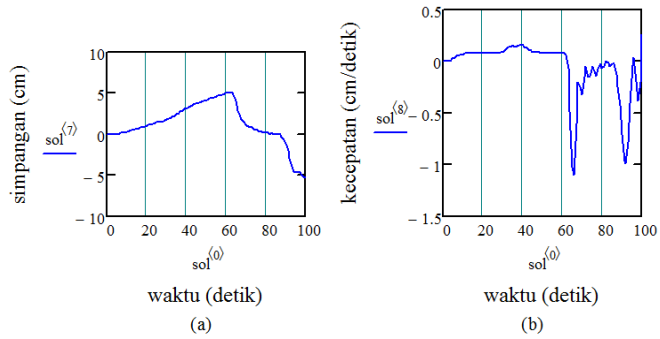
Gambar Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan



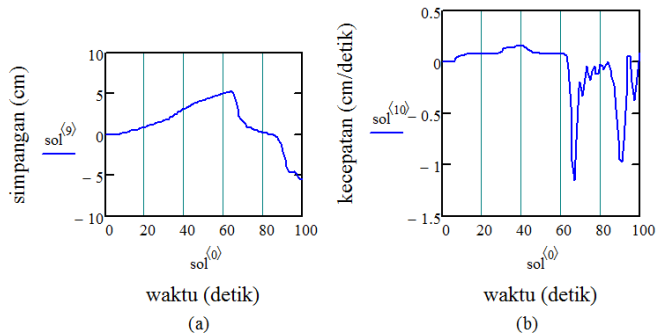
Gambar Respons lantai 2 (a) simpangan (b) kecepatan



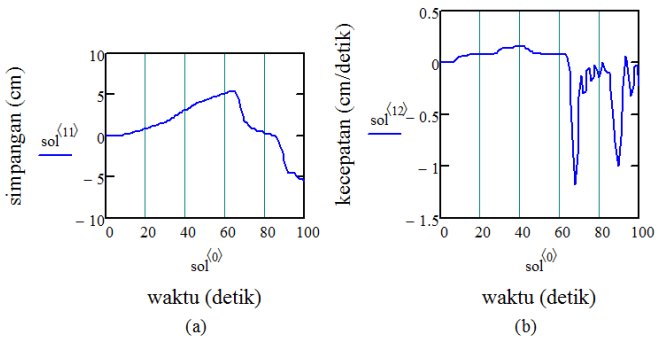
Gambar Respons lantai 3 (a) simpangan (b) kecepatan



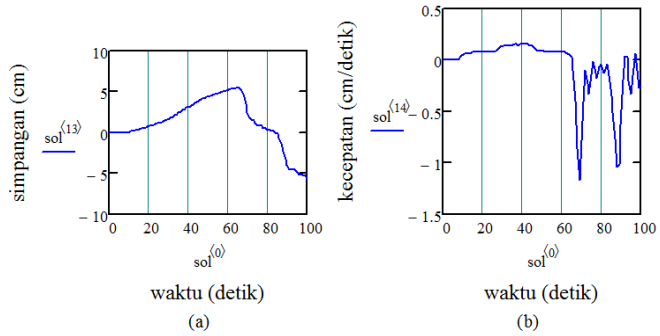
Gambar Respons rantai 4 (a) simpangan (b) kecepatan



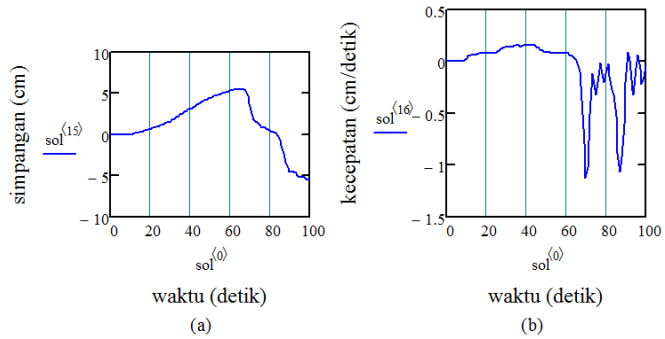
Gambar Respons rantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan



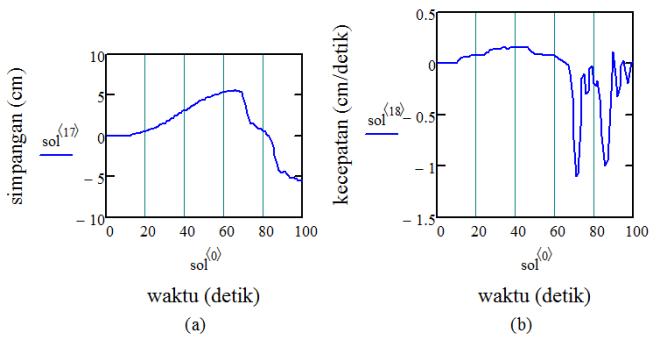
Gambar Respons rantai 6 (a) simpangan (b) kecepatan



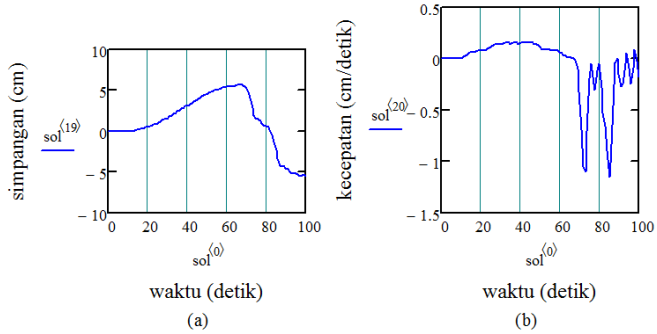
Gambar Respons lantai 7 (a) simpangan (b) kecepatan



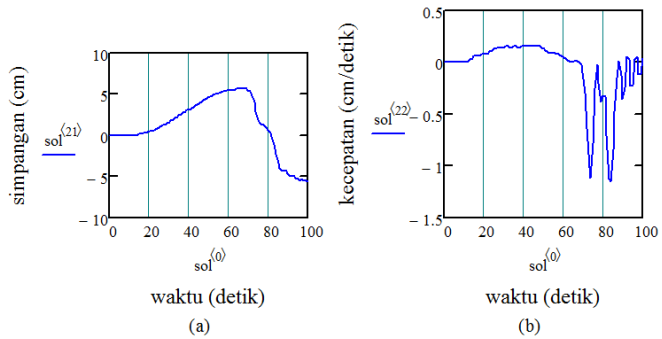
Gambar Respons lantai 8 (a) simpangan (b) kecepatan



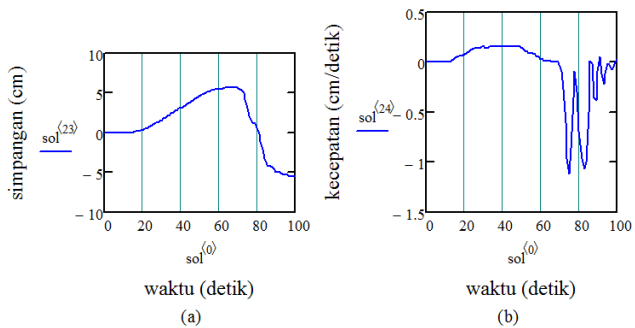
Gambar Respons lantai 9 (a) simpangan (b) kecepatan



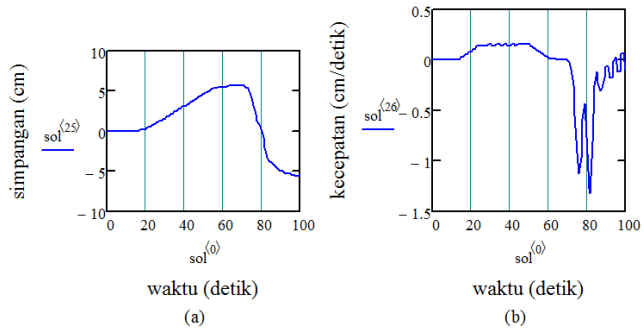
Gambar Respons rantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan



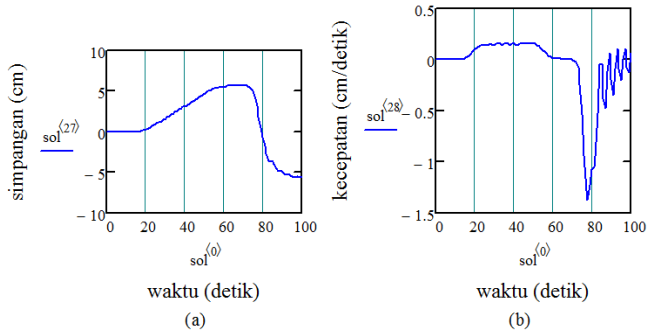
Gambar Respons rantai 11 (a) simpangan (b) kecepatan



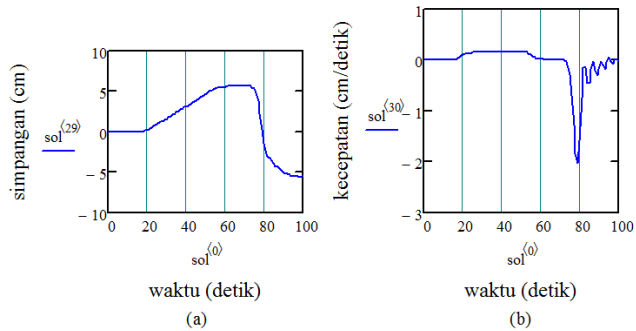
Gambar Respons rantai 12 (a) simpangan (b) kecepatan



Gambar Respons rantai 13(a) simpangan (b) kecepatan



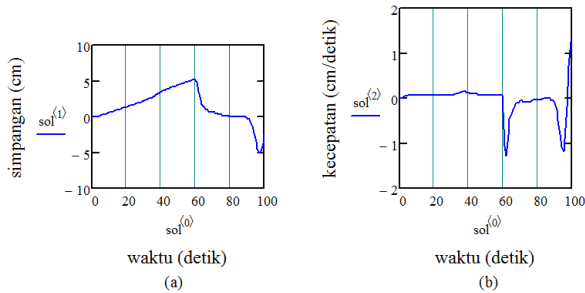
Gambar Respons rantai 14 (a) simpangan (b) kecepatan



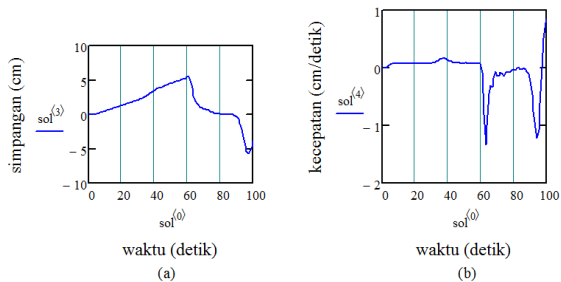
Gambar Respons rantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan

2. Gempa Berkekuatan 6 Skala Richter

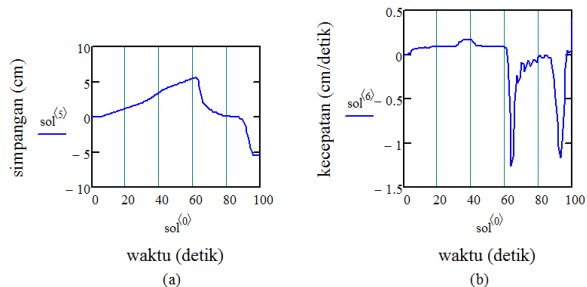
Berikut merupakan hasil respons vibrasi yang ditandai dengan besar simpangan dan kecepatan maksimum akibat gempa berkekuatan 6 Skala Richter.



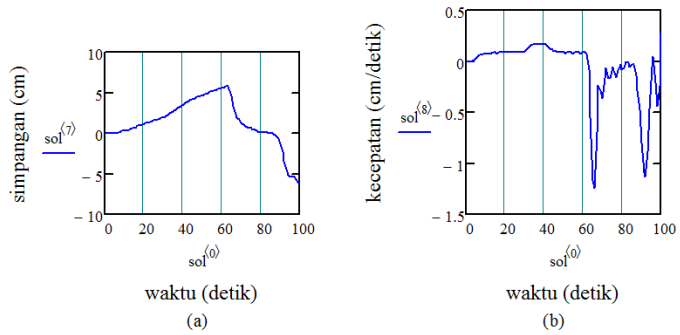
Gambar Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan



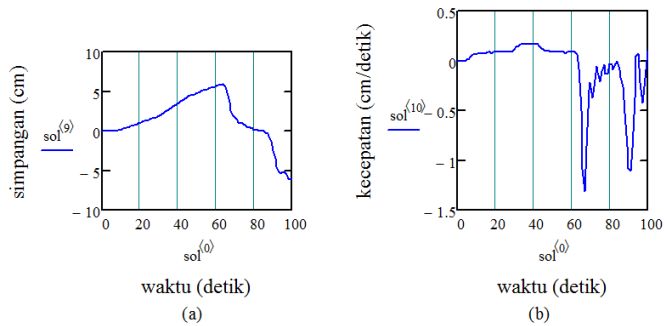
Gambar Respons lantai 2 (a) simpangan (b) kecepatan



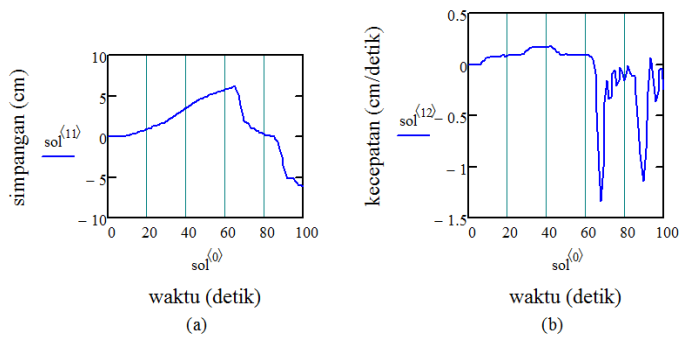
Gambar Respons lantai 3 (a) simpangan (b) kecepatan



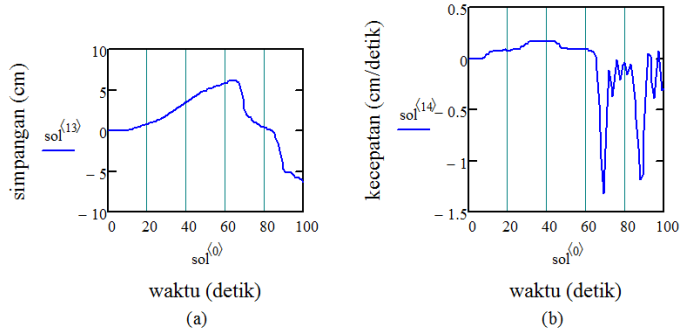
Gambar Respons lantai 4 (a) simpangan (b) kecepatan



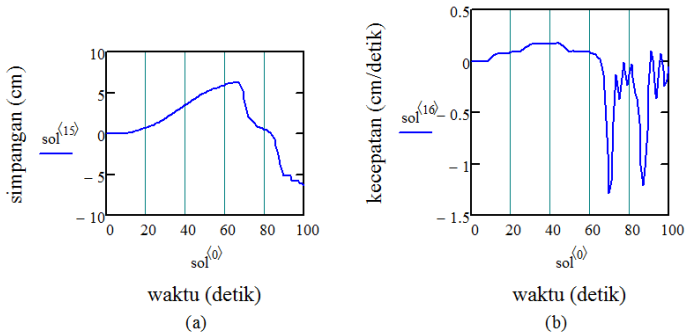
Gambar Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan



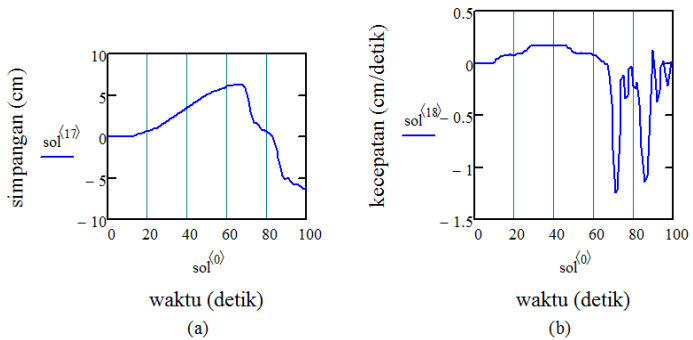
Gambar Respons lantai 6 (a) simpangan (b) kecepatan



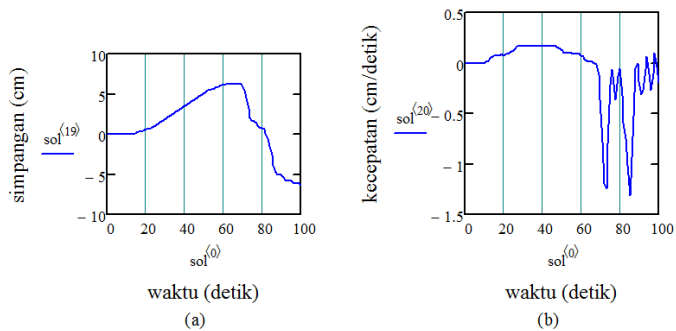
Gambar Respons lantai 7 (a) simpangan (b) kecepatan



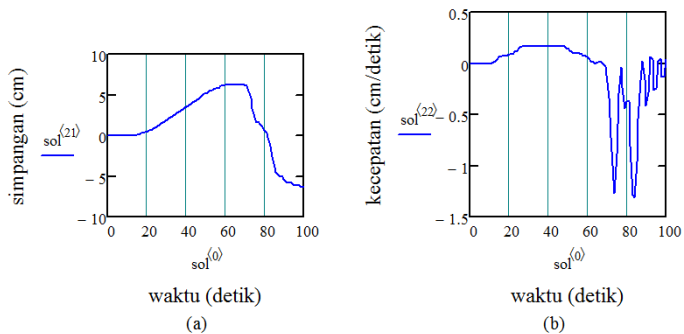
Gambar Respons lantai 8 (a) simpangan (b) kecepatan



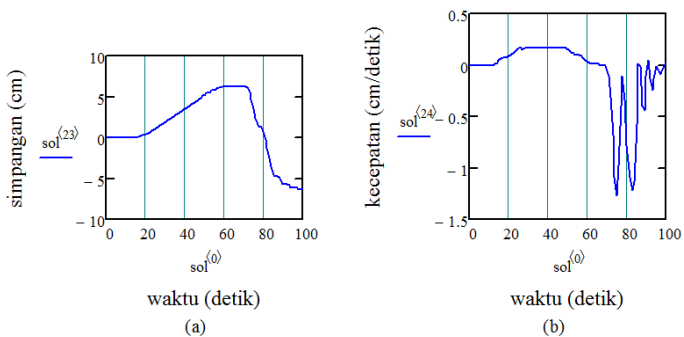
Gambar Respons lantai 9 (a) simpangan (b) kecepatan



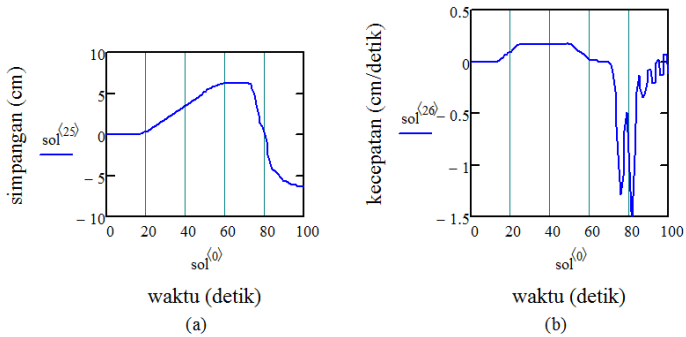
Gambar Respons rantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan



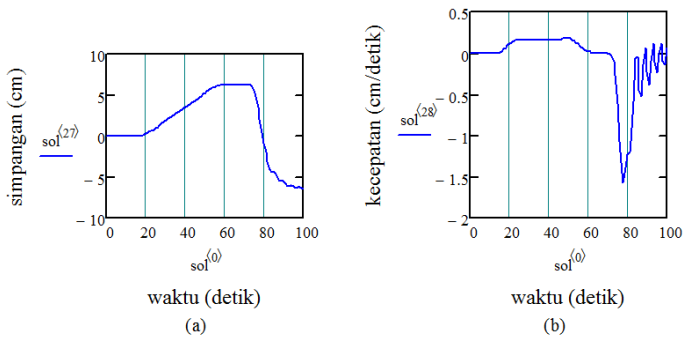
Gambar Respons rantai 11 (a) simpangan (b) kecepatan



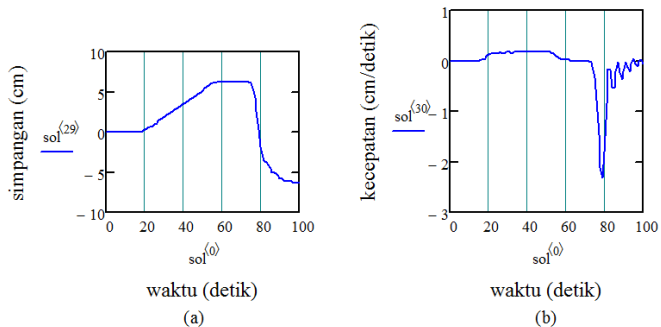
Gambar Respons rantai 12 (a) simpangan (b) kecepatan



Gambar Respons lantai 13(a) simpangan (b) kecepatan



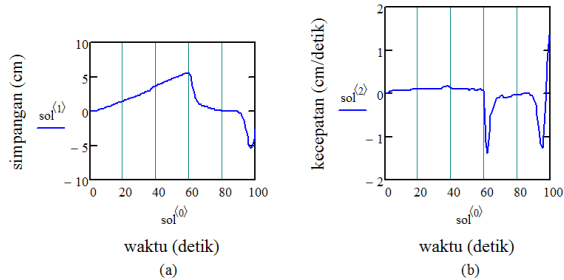
Gambar Respons lantai 14 (a) simpangan (b) kecepatan



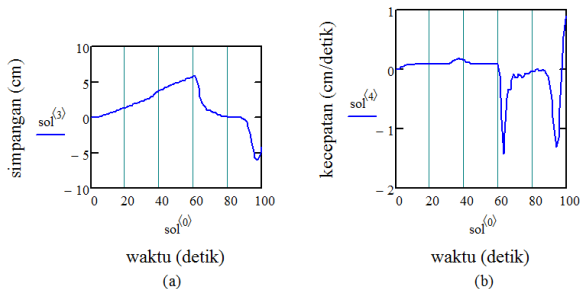
Gambar Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan

3. Gempa Berkekuatan 7 Skala Richter

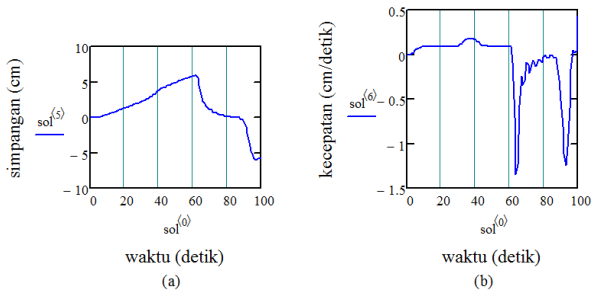
Berikut merupakan hasil respons vibrasi yang ditandai dengan besar simpangan dan kecepatan maksimum akibat gempa berkekuatan 7 Skala Richter.



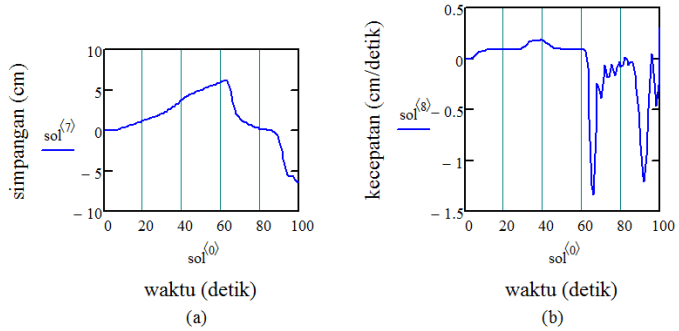
Gambar Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan



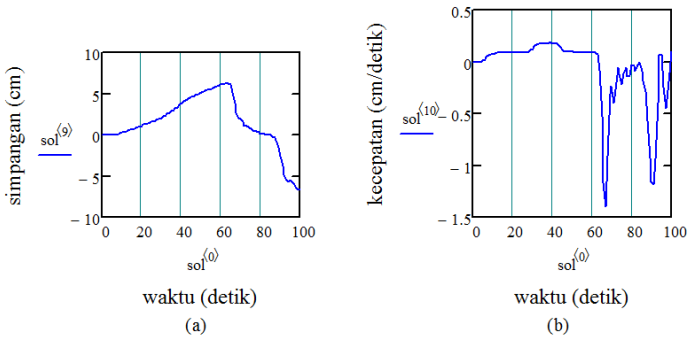
Gambar Respons lantai 2 (a) simpangan (b) kecepatan



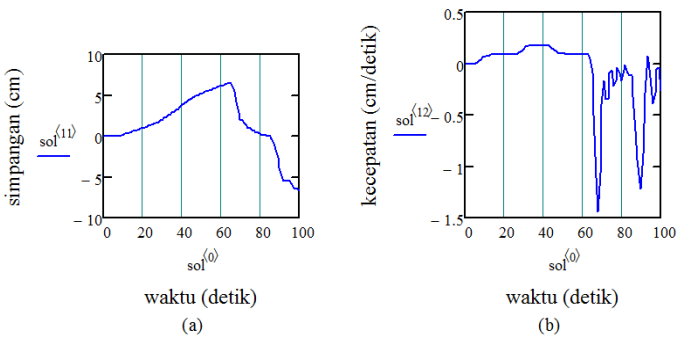
Gambar Respons lantai 3 (a) simpangan (b) kecepatan



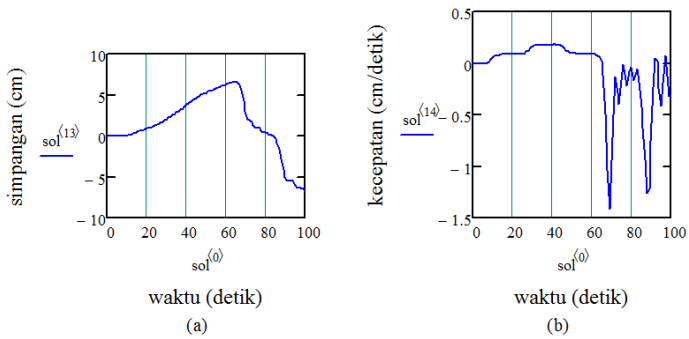
Gambar Respons lantai 4 (a) simpangan (b) kecepatan



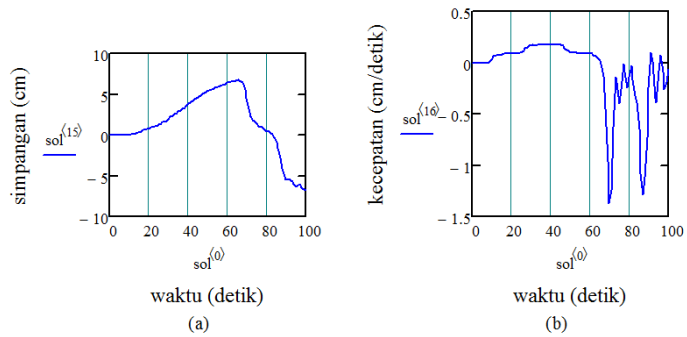
Gambar Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan



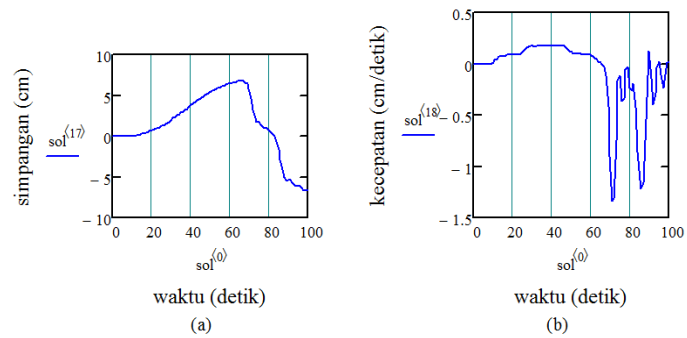
Gambar Respons lantai 6 (a) simpangan (b) kecepatan



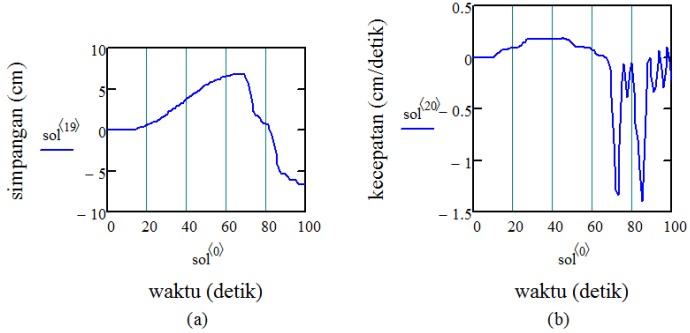
Gambar Respons lantai 7 (a) simpangan (b) kecepatan



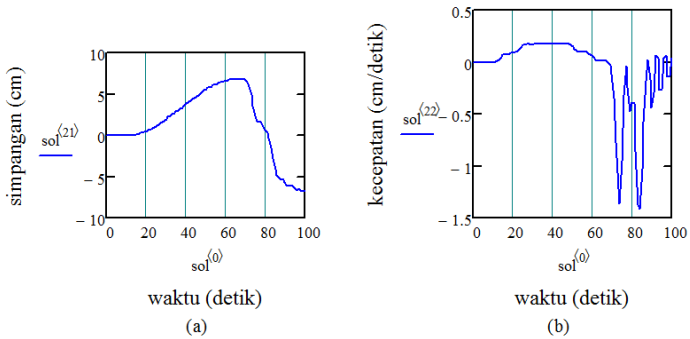
Gambar Respons lantai 8 (a) simpangan (b) kecepatan



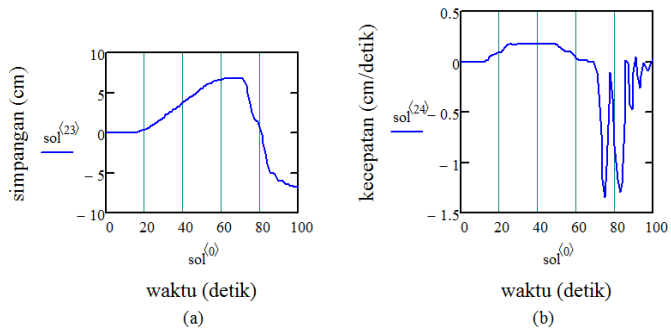
Gambar Respons lantai 9 (a) simpangan (b) kecepatan



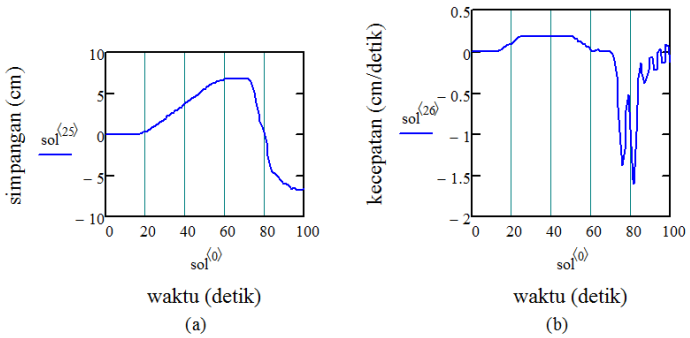
Gambar Respons rantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan



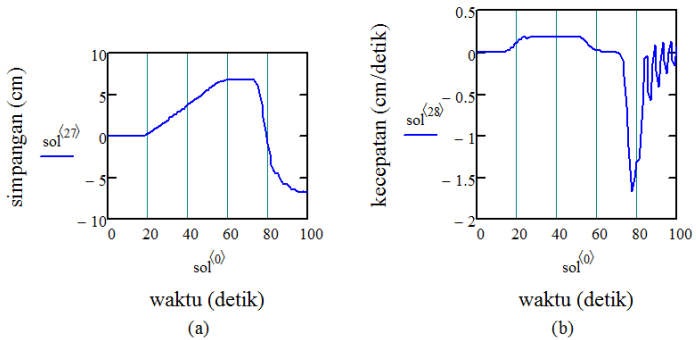
Gambar Respons rantai 11 (a) simpangan (b) kecepatan



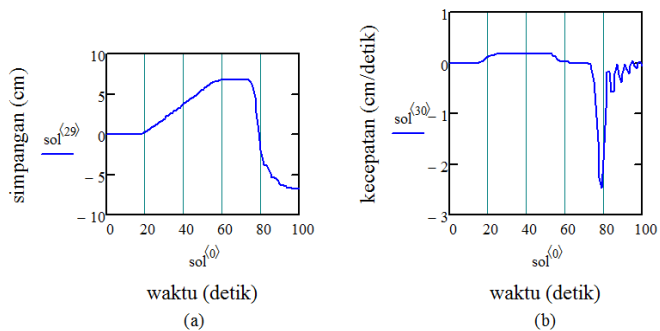
Gambar Respons rantai 12 (a) simpangan (b) kecepatan



Gambar Respons rantai 13(a) simpangan (b) kecepatan



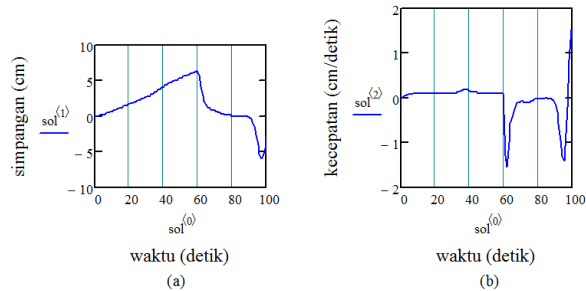
Gambar Respons rantai 14 (a) simpangan (b) kecepatan



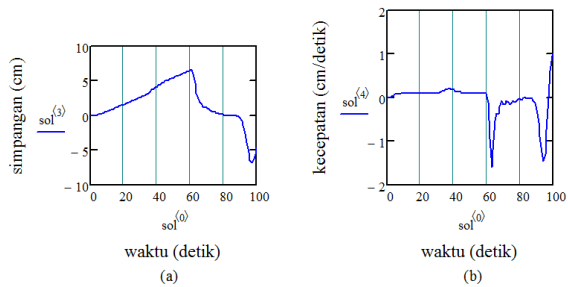
Gambar Respons rantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan

4. Gempa Berkekuatan 8 Skala Richter

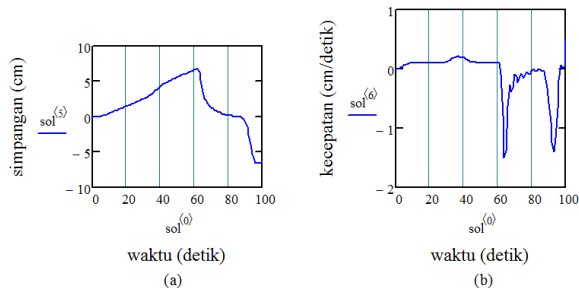
Berikut merupakan hasil respons vibrasi yang ditandai dengan besar simpangan dan kecepatan maksimum akibat gempa berkekuatan 8 Skala Richter.



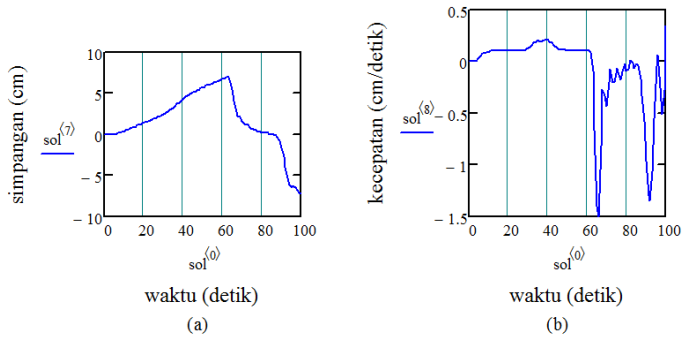
Gambar Respons lantai 1 (a) simpangan (b) kecepatan



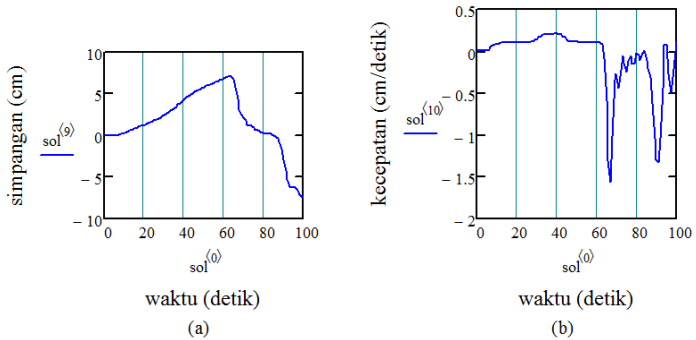
Gambar Respons lantai 2 (a) simpangan (b) kecepatan



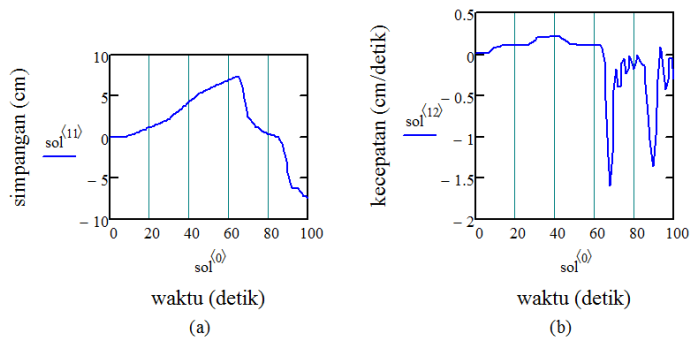
Gambar Respons lantai 3 (a) simpangan (b) kecepatan



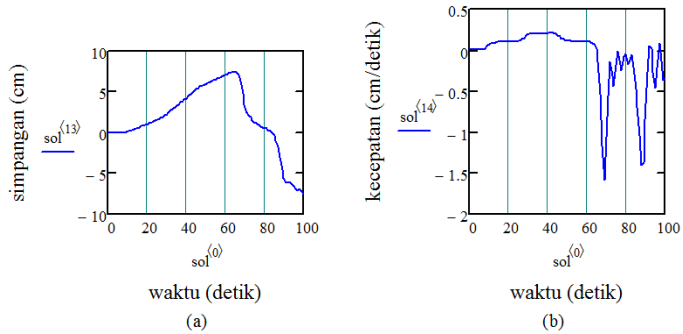
Gambar Respons lantai 4 (a) simpangan (b) kecepatan



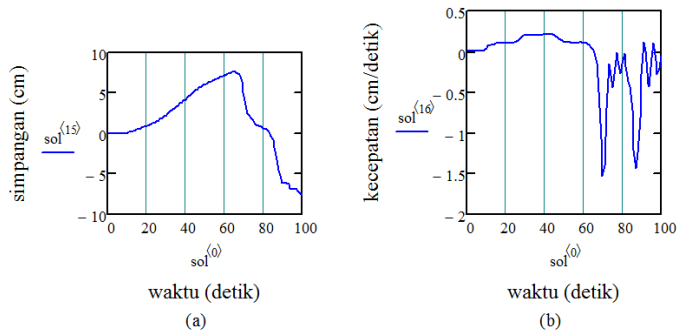
Gambar Respons lantai 5 (a) simpangan (b) kecepatan



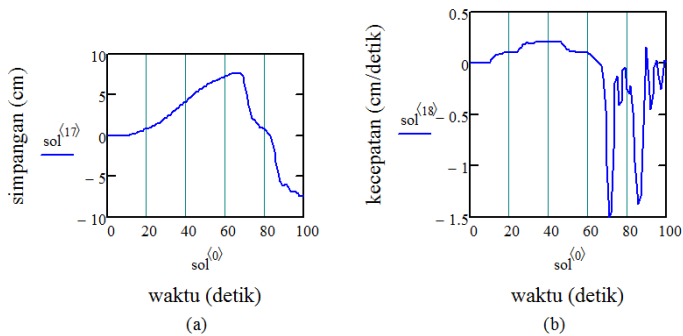
Gambar Respons lantai 6 (a) simpangan (b) kecepatan



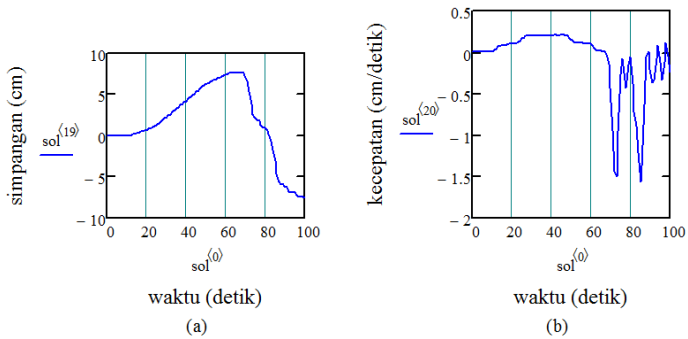
Gambar Respons lantai 7 (a) simpangan (b) kecepatan



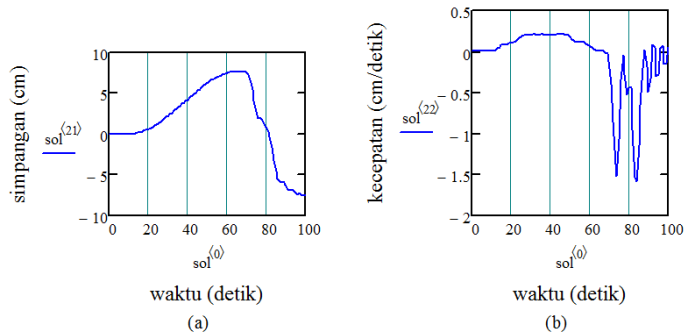
Gambar Respons lantai 8 (a) simpangan (b) kecepatan



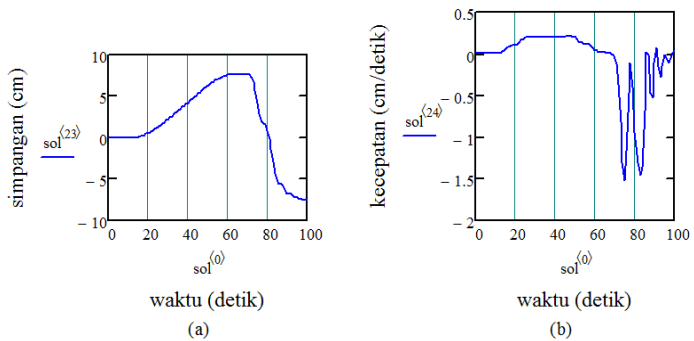
Gambar Respons lantai 9 (a) simpangan (b) kecepatan



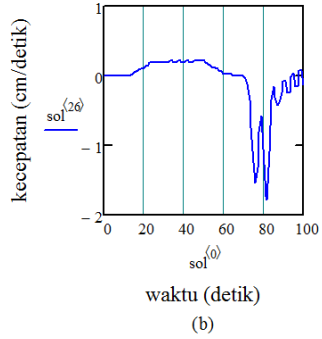
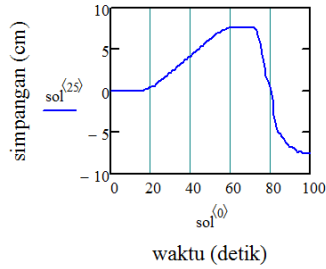
Gambar Respons lantai 10 (a) simpangan (b) kecepatan



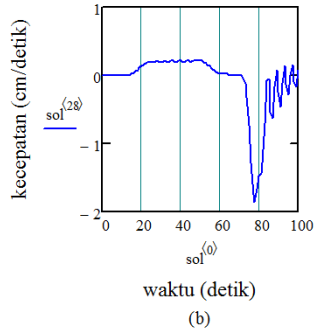
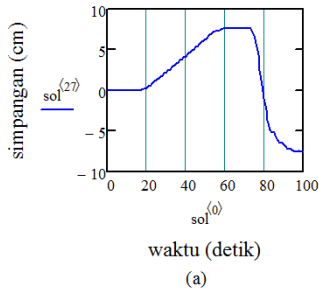
Gambar Respons lantai 11 (a) simpangan (b) kecepatan



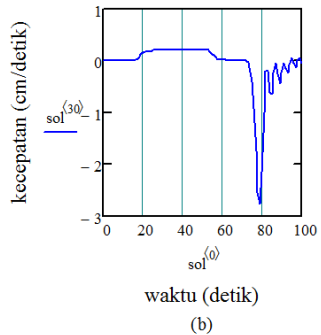
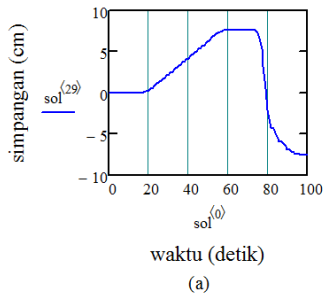
Gambar Respons lantai 12 (a) simpangan (b) kecepatan



Gambar Respons lantai 13(a) simpangan (b) kecepatan



Gambar Respons lantai 14 (a) simpangan (b) kecepatan



Gambar Respons lantai 15 (a) simpangan (b) kecepatan

BIODATA PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 13 Juli 1992, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Tanjungsari I (1998-2004), SMPN 2 Taman (2004-2007), SMA Intensif Taruna Pembangunan Surabaya (2007-2010), D3 Teknik Instrumentasi ITS (2010-2013), dan melanjutkan studi lintas jalur di Teknik Fisika ITS (2014-2016).

Bidang minat yang diambil adalah Akustik dan Vibrasi, dengan bidang keahlian yang ditekuni adalah vibrasi. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik di diyanitanggun@gmail.com